

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat (E.N.S.M.R)



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté par :

Hamza AHAL MASAOUD

Mohamed HANI

En vue de l'obtention du titre :

INGENIEUR D'ETAT

Département : Électromécanique

Option : Maintenance Industrielle

Sujet :

Amélioration du système de gestion d'énergie en temps réel existant et préparation de la mise en place de l'ISO 50001

Soutenu le 23 Juin 2016 devant le Jury composé de :

M. CHERKAOUI	Président du Jury (ENSMR)
M. EL MERNISSI	Directeur de projet (ENSMR)
M. REDOANE	Examineur (ENSMR)
M. EL ACHAM	Parrain industriel (AFRIQUE CABLES)
M. ETTALIBI	Parrain industriel (AFRIQUE CABLES)

Année universitaire : 2015-2016



Projet de fin d'études





Dédicace

Je tiens à dédier avec immense plaisir ce travail :

À mon père, qui peut être fier de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le permanent venu de toi.

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçoit à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mes frères et ma sœur qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

À mes amis.

À toutes les personnes qui me sont chères.

HANI MOHAMED



Dédicace

Je tiens à dédier avec immense plaisir ce travail :

A mes très chers parents

Tous les mots de monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être

A ma chère sœur

Merci pour ton amour, ton soutien et ton encouragement

A mon cher frère

A toute ma famille

A tous mes amis

Et à tous ceux qui ont cru en moi

Je dédie cet humble travail

AHAL MASAOUD HAMZA



Remerciements

En préambule à ce rapport, il nous est agréable de nous acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce rapport.

Tout d'abord, nous remercions l'encadrement attentionné et bien veillant de notre parrain industriel **M. A. Ettalibi** qui nous a accompagnés pendant toute notre période de stage, qui nous a été d'une grande et précieuse aide et qui s'est surtout montré généreux en face de notre avidité pour le savoir et l'apprentissage.

Nos grands remerciements vont aussi vers le **Pr. A. EL MERNISSI**, notre parrain, professeur et encadrant pédagogique, pour le savoir-faire qu'il nous a transmis, sa générosité, modestie et disponibilité.

Nous exprimons également notre gratitude à l'ensemble du personnel d'AFRIQUE CABLES pour leur disponibilité et leur aide inconditionnelle, en particulier les responsables au sein des différentes directions : **M. Abkader, M. Adam. !!!!**

Finalement, nous tenons à rendre hommage à l'ensemble des enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat qui, durant nos trois ans de parcours à l'école, ont œuvré à maintenir une excellente qualité de formation et à nous apprendre les grandes valeurs du professionnalisme.



Résumé

La présente étude s'inscrit, dans le cadre de l'amélioration de l'efficacité énergétique au sein de l'entreprise AFRIQUE CABLES.

Nous avons commencé notre travail par une présentation de l'organisme d'accueil et du contexte du projet, ensuite un volet a été consacré à un prédiagnostic selon les exigences définies par la norme ISO 50001 pour évaluer la situation énergétique actuelle.

Ensuite, on a mené des audits sur les installations les plus gourmandes en matière d'énergie telles que le système de production d'air comprimé, le réseau électrique, l'éclairage et les chambres Hydro setting. Ainsi, nous avons pu développer des solutions et recommandations permettant la minimisation de leur consommation énergétique. Tout ceci fut appuyé par un coût d'investissement et un temps de retour raisonnable permettant leur application afin d'améliorer l'efficacité énergétique de l'usine.



Abstract

This study fits into the framework of improving energy efficiency within the company AFRICA CABLES.

We began our work with a presentation of the organization and the context of the project, then a section was devoted to a preliminary diagnosis according to the requirements defined by the ISO 50001 so we can assess the current energy management system situation.

Then we conducted audits on the most demanding installations in term of energy as the system of production of compressed air, the power grid, lighting and ripening chambers. Thus, we have developed solutions and recommendations for minimizing energy consumption. All this was backed by investment cost and a reasonable time of return.



Liste des abréviations

Abréviation	Désignation
KPI	key performance indicators (indicateurs clefs de performance)
MAD	Moroccan Dirham (Dirham Marocain)
CPE	Consommation spécifique d'énergie)
PA	Puissance appelé
PS	Puissance souscrite
HC	Heures creuses
HP	Heures de pointe
HPL	Heures pleines
FP	Facteur de puissance
IPé	Indicateur de performance énergétique
KVA	Kilo Volt Ampère



Liste des tableaux

Tableau 1 Fiche de l'entreprise.....	3
Tableau 2 Analyse de la situation de l'entreprise par rapport à la norme 50001	Error! Bookmark not defined.
Tableau 3 Analyse de la situation de l'entreprise par rapport à la norme 50001	19
Tableau 4 Consommations propres d'ELECTRA	20
Tableau 5 Inventaire du parc électrique	21
Tableau 6 indicateur de performance énergétique par secteur de production	21
Tableau 7 indicateur de performance de référence de l'unité d'assemblage	22
Tableau 8 Indicateur de performance de référence de l'unité du métal déployé	23
Tableau 9 Indicateurs de performance de référence de l'unité d'affinage	24
Tableau 10 indicateur de performance de référence de l'unité de Broyage et Réduction	25
Tableau 11 indicateur de performance de référence de l'unité de charge et finition	26
Tableau 12 les indicateurs proposés	27
Tableau 13 La puissance réactive à compenser	44
Tableau 14 Puissance réactive nécessaire à la correction de facteur de puissance	44
Tableau 15 Gain au niveau de la puissance appelée	45
Tableau 16 Puissance souscrite optimale après compensation	45
Tableau 17 Gain au niveau de la puissance souscrite	45
Tableau 18 Gain au niveau du dépassement	46
Tableau 19 Gain de l'amélioration du facteur de puissance	46
Tableau 20 Type de filtrage à utiliser	47
Tableau 21 Évaluation du taux de charge des compresseurs	51
Tableau 22 la production annuelle des compresseurs	51
Tableau 23 la consommation électrique totale de la salle des compresseurs	52
Tableau 24 Coût de production d'un m3 de l'air comprimé	52
Tableau 25 Essais de mesure des fuites d'air comprimé	55
Tableau 26 Mesure du taux de fuites	55
Tableau 27 Gain potentiel escompté de l'installation d'un variateur de vitesse	59
Tableau 28 Consommation d'air en poussée et en traction par cm de course	61
Tableau 29 Caractéristiques des équipements qui consomment de l'air comprimé	61
Tableau 30 Choix du compresseur	62
Tableau 31 Puissance des compresseurs actuels	63
Tableau 32 Nombre d'heures annuel où les compresseurs fonctionnent justement pour les chambres de murrissage	63
Tableau 33 Rentabilité de la solution	63
Tableau 34 Programme de chargement des plaques	65
Tableau 35 Programme de traitement des plaques	65
Tableau 36 Consommation énergétique des chambres actuelles	67
Tableau 37 Durée de fonctionnement des chambres actuelles	67
Tableau 38 Les caractéristiques des lampes installées à l'usine	70
Tableau 39 Heures de travail de chaque unité	71
Tableau 40 Projet économique du remplacement des Lampes à Vapeur de mercure par les Lampes à Iodure métallique	71
Tableau 41 Gain annuel et temps de retour du remplacement des lampes de vapeur de mercure	71
Tableau 42 Projet économique du remplacement des Lampes à Vapeur de mercure par les Lampes à Sodium haute pression	72
Tableau 43 Gain annuel et temps de retour du remplacement des lampes de vapeur de mercure	72
Tableau 44 Projet économique du remplacement des lampes à incandescence par les lampes à fluorescence	72
Tableau 45 Gain annuel et temps de retour du remplacement des lampes à incandescence	73



Table des figures

Figure 1 organigramme du groupe YNNA HOLDING.....	2
Figure 2 Organigramme général d'AFRIQUE CABLES.....	3
Figure 3 Les étapes de production des batteries.....	4
Figure 4 Opération de broyage des batteries usagées.....	5
Figure 5 Processus de production de la section fonderie.....	6
Figure 6 Détails section assemblage.....	8
Figure 7 Processus de production dans les deux sections découpage et assemblage.....	8
Figure 8 Descriptif du processus de l'unité Charge et Finition.....	9
Figure 9 Planning du projet.....	10
Figure 10 PDCA.....	12
Figure 11 Schématisation géographique de l'entreprise.....	13
Figure 12 Évolution de l'IPÉ de l'unité d'assemblage.....	22
Figure 13 Évolution de l'IPÉ du gaz de l'unité du métal déployé.....	23
Figure 14 Évolution de l'IPÉ de l'énergie électrique de l'unité du métal déployé.....	23
Figure 15 Évolution de l'IPÉ de l'énergie électrique de l'unité d'affinage.....	25
Figure 16 Évolution de l'IPÉ du gaz de l'unité d'affinage.....	25
Figure 17 Évolution de l'IPÉ du fioul de l'unité du Broyage.....	26
Figure 18 Évolution de l'IPÉ de l'énergie électrique de l'unité du Broyage.....	26
Figure 19 Évolution de l'IPÉ de l'énergie électrique de l'unité de charge et finition.....	26
Figure 20 Moyenne de la consommation mensuelle en 2015 par type d'énergie en kWh.....	28
Figure 21 Consommation de l'énergie électrique par secteur de production en 2015.....	29
Figure 22 Évolution de la consommation de l'énergie électrique entre 2014 et 2015.....	29
Figure 23 Évolution de la consommation du gaz entre 2014 et 2015.....	30
Figure 24 La corrélation entre la consommation de l'énergie électrique de l'usine en kWh et la production totale des batteries.....	31
Figure 25 La corrélation entre la consommation du gaz de l'usine en kg et la production totale des batteries.....	32
Figure 26 La corrélation entre la consommation de l'énergie électrique de l'unité d'assemblage en kWh et sa production.....	33
Figure 27 La corrélation entre la consommation de l'énergie électrique de l'unité de finition en kWh et sa production.....	33
Figure 28 La corrélation entre la consommation de l'énergie électrique de l'unité du métal déployé en kWh et sa production.....	34
Figure 29 Évolution du facteur de puissance en 2015.....	42
Figure 30 Représentation vectorielle de la compensation.....	43
Figure 31 Évolution de la puissance active en kW.....	44
Figure 32 Schéma du réseau électrique.....	46
Figure 33 Les valeurs de chaque rang d'harmoniques.....	48
Figure 34 L'unité de production de l'air comprimé au sein d'ELECTRA.....	49
Figure 35 Répartition des coûts d'un réseau d'air comprimé.....	50
Figure 36 Les caractéristiques des compresseurs.....	50
Figure 37 Économies potentiellement réalisables sur les systèmes d'air comprimé.....	53
Figure 38 Évolution du débit de fuite en fonction de la pression et du diamètre du trou.....	53
Figure 39 Détection des fuites par la mesure des durées de fonctionnement en charge/à vide du compresseur.....	54
Figure 40 profile de la consommation d'énergie en fonction de la demande d'air comprimé.....	57
Figure 41 Profils de vitesse et de pression d'un compresseur à vitesse variable.....	58
Figure 42 Énergie électrique consommée par le compresseur à vide.....	58
Figure 43 Puissance appelée par le compresseur en fonction du débit.....	59



Table des matières

Introduction générale	1
Présentation de l'entreprise et contexte général de l'étude	2
1. Présentation de l'organisme d'accueil :	2
2.1 Le groupe YNNA HOLDING :	2
2.2 Présentation de l'entreprise AFRIQUE CABLES :	2
2. Présentation du processus de production de l'unité batterie	4
2.1 Introduction	4
2.2 Section recyclage et fonderie:	4
2.3 Broyage des batteries	5
2.4 Fonderie:	5
2.5 Section Métal déployé :	6
2.6 Section assemblage de batteries semi-finies	8
2.7 Section charge et finition	8
3 Problématique du sujet et méthodologie d'approche	10
3.1. Problématique	10
3.2 Système de Management de l'Énergie	10
3.3 Périmètre de Travail :	12
3.4 Politique énergétique	13
3.5 L'équipe de travail	14
Revue énergétique :	15
1. Pré diagnostique	15
1.1 But du prédiagnostic	15
1.2 Résultats globales du questionnaire :	15
1.3 Analyse du questionnaire :	16
2. Établir la situation énergétique de référence	20
2.1 Introduction	20
2.2 État des lieux	20
2.3 Les Indicateurs de performance énergétique et leurs interprétations :	21
3. Analyse de production par rapport à la consommation	28
3.1 Introduction	28
3.2 Étude de terrain	28
3.3 Profil des consommations	28
3.4 Évolution de la consommation	29



3.5	Évolution de la consommation spécifique énergétique en fonction de la production	30
3.6	Évolution des consommations de l'énergie en fonction de la production pour chaque unité :	33
3.7	Conclusion	34
Plans d'action		35
Évaluation du système de gestion énergétique		36
1.	Introduction	36
2.	Situation actuelle	36
3.	Améliorations proposées :	36
3.1	Suivi de la salle des compresseurs	36
3.2	Suivi de la station de pompage d'acide	36
3.3	Intégration de la performance énergétique dans les fiches type de suivi et dans les réunions de performance	36
3.4	Application informatique de suivi énergétique	37
4.	Conclusion	41
Compensation de l'énergie réactive et filtrage des harmoniques		42
1.	Amélioration du facteur de puissance	42
1.1	Introduction	42
1.2	Bienfaits d'un facteur de puissance proche de 1	42
1.3	Équipement de compensation	43
1.4	La compensation de l'énergie réactive globale sur le TGBT :	43
1.5	Gain de la compensation :	45
1.6	Gain au niveau du dépassement :	46
1.7	Gain de l'amélioration du facteur de puissance :	46
2.	Filtrage des harmoniques	46
2.1	Introduction	46
2.2	Équipements de filtrage des harmoniques :	46
2.3	Impact économique :	47
3.	L'air comprimé	49
3.1	Introduction	49
3.2	Évaluation et étude de la situation actuelle de l'installation d'air comprimé	49
3.3	État et Caractéristique de l'installation d'air comprimé	50
3.4	Calcul des rendements des compresseurs :	50
3.5	Analyse de l'indicateur de performance énergétique de l'installation d'air comprimé	50
3.6	Propositions d'amélioration pour l'économie d'énergie	52
3.7	L'état du système de production d'air comprimé :	52
3.8	Réparation des fuites :	53
3.9	Diminution de la consommation grâce au variateur de vitesse	56



4.	Les chambres de Murissage :	60
4.1	Dimensionnement d'un système d'air comprimé destiné aux chambres de murissage	60
4.2	Rénovation des anciennes chambres de Murissages	64
5.	L'éclairage	70
5.1	Introduction	70
5.2	Le système d'éclairage de l'usine	70
5.3	Remplacement des lampes à vapeur de Mercure et les lampes à incandescence	70
5.4	Récapitulatif des projets d'optimisation de l'éclairage :	73
5.5	Recommandations :	73
Conclusion		74
Bibliographie		75
Annexes		76



Introduction générale

Dans un contexte de dépendance énergétique quasi totale et d'une fluctuation importante des prix d'énergie primaire d'origine fossile, le Maroc a mis en place une nouvelle stratégie énergétique dont l'efficacité est placée en tête de ses priorités.

L'objectif de cette stratégie est d'introduire de manière durable les techniques d'efficacité énergétique au niveau des différents secteurs socio-économiques, en particulier le secteur qui consomme à peu le tiers de l'énergie totale, et ce à travers la réalisation d'audits énergétique visant l'optimisation de la consommation d'énergie dans les entreprises.

La stratégie énergétique intègre la dimension d'économie d'énergie pour des objectifs de sécurité de l'approvisionnement, de compétitivité des entreprises et de la contribution à la protection de l'environnement.

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre projet de fin d'étude effectué au sein de « AFRIQUE CABLES » qui vise à étudier l'opportunité d'optimisation de la consommation des différents vecteurs énergétique.

Présentation de l'entreprise et contexte général de l'étude

Introduction

Ce présent chapitre donne une description de l'entreprise AFRIQUE CABLES dans laquelle le projet de fin d'études intitulé «Améliorer le système de gestion d'énergie en temps réel existant et préparer la mise en place de l'ISO 50001 a été effectué, et du groupe CHAABI YNNA HOLDING dont l'entreprise fait partie, puis nous allons donner une description du processus de fabrication des batteries, après nous allons définir le contexte de projet et montrer la planification et la démarche adoptée pour réussir ce projet.

1. Présentation de l'organisme d'accueil :

2.1 Le groupe YNNA HOLDING :

AFRIQUE CABLES étant l'une des filiales du groupe CHAABI « YNNA HOLDING », ce groupe CHAABI est une société holding privée dont l'actionnariat comprend exclusivement des personnes physiques (Famille CHAABI). Nous présentons dans la figure ci-dessous l'organigramme de ses différentes filiales



Figure 1 organigramme du groupe YNNA HOLDING

2.2 Présentation de l'entreprise AFRIQUE CABLES :

AFRIQUE CABLES est une société anonyme créée en 1992 et localisée à CASABLANCA, elle comporte deux unités de production l'une spécialisée dans la fabrication des batteries de démarrage et d'énergie reconnues sous la marque « ELECTRA » et une autre unité de production des câbles téléphoniques destinés au marché national et à l'export.

Le tableau suivant présente un ensemble d'informations sur l'entreprise AFRIQUE CABLES

Raison sociale	AFRIQUE CABLES
Statut Juridique	Société Anonyme
Capital Social	111.387.000 DHS (Activités Batteries & Câbles Téléphoniques)
Date de Création	<ul style="list-style-type: none"> 1992 : Lancement des produits 1994 : Batterie Télévision et Batterie démarrage 1996 : Batterie Énergie
Actionnaires principaux	<ul style="list-style-type: none"> Le Président du groupe Mr Miloud CHAABI : La Holding YANNA
activités et produits	<ul style="list-style-type: none"> des batteries de démarrage automobiles & Câbles Téléphoniques destinés aux réseaux publics et privés des batteries pour la télévision ; des batteries d'énergie ; de l'acide sulfurique et l'eau déminéralisée.
Capacité de Production	<ul style="list-style-type: none"> Batteries : 250.000 Batteries par an Câbles : 500 000 KMP
Part de Marché	<ul style="list-style-type: none"> Batteries : environ 30% Câbles : environ 40%
Employés (Activités Batteries & Câbles)	Environ 250 personnes dont 7% Ingénieurs et cadres ou assimilés, 26% agents de maîtrise ou techniciens, 67% employés et ouvriers. L'âge moyen est de 44 ans, l'ancienneté moyenne est de 12 ans.

Tableau 1 Fiche de l'entreprise

La société AFRIQUE CABLES est structurée en processus selon l'organigramme hiérarchique suivant.

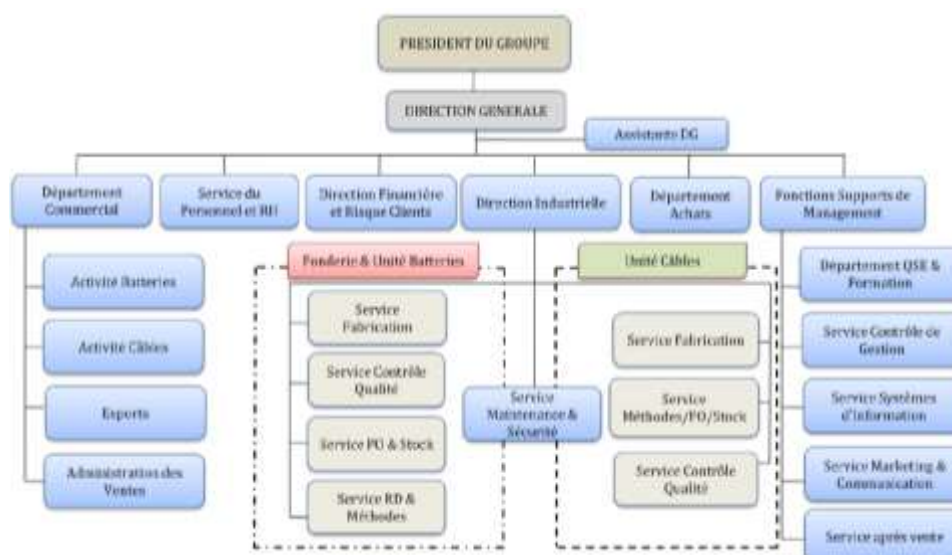


Figure 2 Organigramme général d'AFRIQUE CABLES

2. Présentation du processus de production de l'unité batterie

2.1 Introduction

La production des batteries à base de plomb et d'acide sulfurique, passe par plusieurs étapes et utilise plusieurs produits intermédiaires, ces principales étapes sont détaillées en dessous :



Figure 3 Les étapes de production des batteries

2.2 Section recyclage et fonderie:

Le plomb est un élément principal dans la fabrication des batteries, c'est pour cela que l'entreprise possède une section de fonderie pour la fabrication des alliages du plomb. Cette fabrication est assurée à partir du recyclage des déchets de la production et des batteries usagées.

Ce recyclage s'effectue le plus souvent en trois étapes :

- Broyage des batteries et séparation des divers éléments.
- Fusion-réduction des pâtes de plomb et du plomb métallique afin d'obtenir du plomb métallique brut non affiné.
- Affinage du plomb métallique et addition d'autres métaux pour obtenir des alliages de compositions bien définies.

Le plomb affiné est ensuite obtenu sous la forme de lingots ou de blocs. Une fois lavé, le polypropylène broyé est vendu à des recycleurs de matières plastiques.

2.3 Broyage des batteries

Les batteries sont introduites dans l'unité de broyage munie de séparateurs hydrodynamiques qui permettent la séparation des différents matériaux qui constituent la batterie.

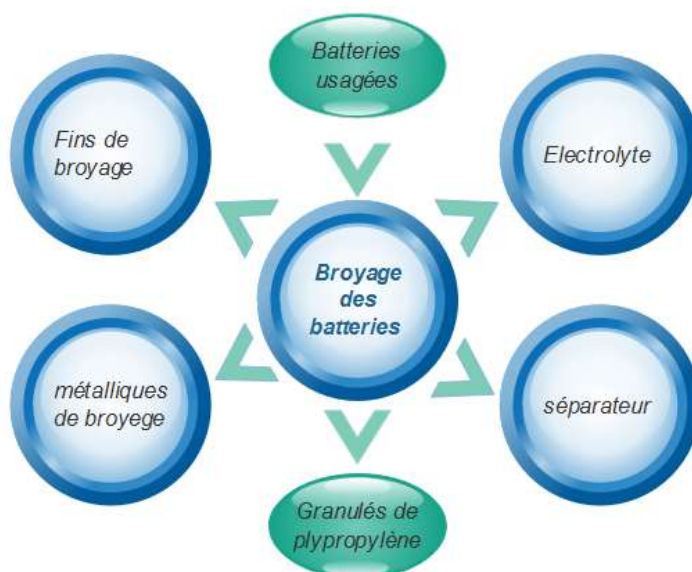


Figure 4 Opération de broyage des batteries usagées

2.4 Fonderie:

La fonderie représente l'un des éléments principaux du processus de production, sa fonction est de produire les différents types de plomb utilisés par les autres sections. Ses principaux produits sont les suivants :

- ❖ Plomb doux qui sera fourni à la section de production d'oxyde de plomb.
- ❖ Plomb 1,7% et le plomb calcium qui seront fournis à la section moulage des grilles.
- ❖ Plomb 3 % qui sera fourni à la section de soudage des groupes des plaques.

Les métalliques et les fins de broyage, les plaques non conformes, les morceaux de plomb venant de la section de découpage (fanion des plaques), les déchets du filtre dépoussiéreur et tous les déchets au long du processus de production représentent une entrée de la section de fonderie.

A. La fusion réduction

L'étape suivante du procédé après le broyage va consister à extraire le plomb contenu des matières métalliques et oxydes de plomb sulfatés venant du broyeur en les fondant à l'aide d'un brûleur, et en les réduisant chimiquement par l'ajout d'agents réducteurs dans des fours rotatifs. Le métal d'œuvre ainsi obtenu est ensuite dirigé vers une plateforme d'affinage. Le déchet ultime lié à cette opération est une scorie qui est rejetée.

Les fumées et gaz générés lors de la fusion réduction sont captés et totalement traités par voie sèche à travers un système de filtration à manches et sont réinjecté dans le four rotatif, car ils sont riches en plomb.

La production des différents alliages de plomb se fait à partir du plomb d'œuvre dans des cuves d'affinage dans lesquelles sont ajoutés des produits pour générer les réactions chimiques nécessaires pour la production de chaque alliage.

Le plomb d'œuvre sorti des fours est un produit semi-fini qui doit être affiné pour obtenir les caractéristiques techniques, mécaniques et chimiques homogènes, définies par les clients.

B. Affinage

L'affinage s'effectue sur du métal liquide à des températures données et se décompose en 2 phases principales:

- ❖ L'élimination des éléments définis comme impuretés.
- ❖ Le retirage par addition d'ajouts d'alliages mères afin d'obtenir les caractéristiques désirées.

Les traitements réalisés produisent des résidus et des cendres d'affinage qui sont entièrement recyclés en interne.

Le métal affiné est retiré, puis pompé vers la chaîne de coulée pour être conditionné sous forme de lingots ou de blocs.

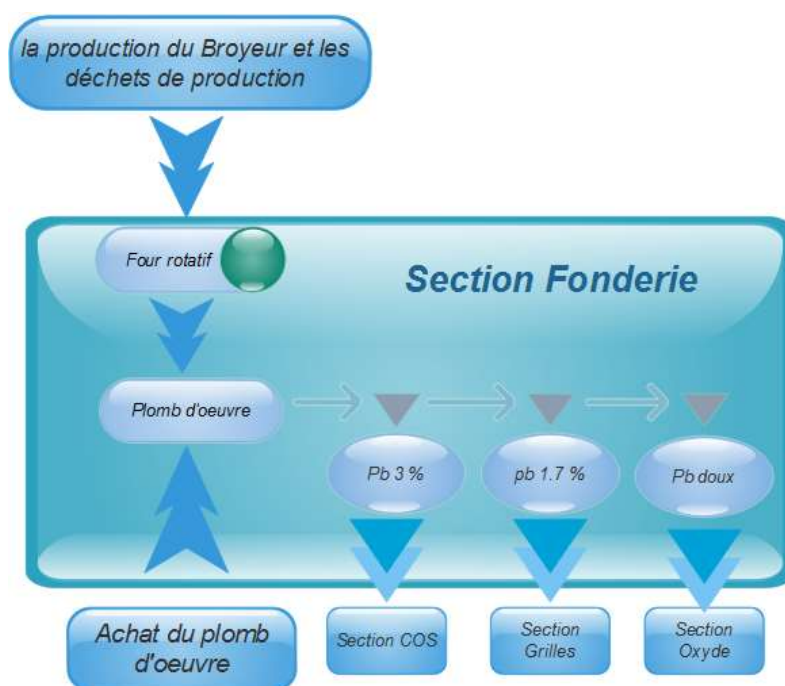


Figure 5 Processus de production de la section fonderie

2.5 Section Métal déployé :

Cette section nouvellement installée caractérisée par une haute performance et une capacité de production élevée, capable de fabriquer des plaques positives ou négatives destinées à la section assemblage elle comporte les sections suivantes :

A. La ligne de laminage:

Dans la ligne de laminage, le produit est la bande en acier laminé alors que la matière première est les ligots de plomb doux. Cette ligne permet alors de produire des bobines de bandes laminées, sa capacité de production est de 3 bandes/heure ce qui est l'équivalent de 24 bandes par poste.



B. La ligne de déploiement :

Une fois les bandes sont laminées et restés en stock pendant trois jours elles constituent l'entrée de la ligne de déploiement ou la machine ROCHE ou s'effectue la fabrication des bandes sous forme de grilles qui vont par la suite se diriger vers la ligne de l'empattage pour continuer le processus de fabrication des plaques.

C. Section oxyde :

La production d'oxyde de plomb est la fonction principale de cette section par procédé de Moulin. Les lingots de plomb doux arrivent en continu dans un four régulé à une température de 400°C. Le plomb devenu liquide descend alors par gravité via une gouttière chauffée au gaz, jusqu'au pot où il est dispersé en fines gouttelettes par les pales d'un batteur. De l'air comprimé introduit par le haut du pot assure l'oxydation du plomb pour obtenir l'oxyde de plomb (PbO).

L'oxyde de plomb produit est acheminé vers des silos de stockage avant d'être envoyé vers le malaxeur de la section d'empattage. La production continue jusqu'à la saturation des silos de stockage.

D. Section Acide –Empattage :

La section Acide fournit les différents types d'acide pour le remplissage des batteries dans la section charge ou pour la production de la pâte dans la section empattage. Elle produit quatre types d'acides selon leur densité.

- ❖ L'acide sulfurique 1,24 ; 1,26 et 1,28 pour la section de charge ;
- ❖ L'acide 1,4 pour la section d'empattage ;

Les produits de la section empattage sont des plaques doubles positives et négatives selon leurs compositions. Pour accomplir cette fonction, nous distinguons entre deux types d'opérations :

- ❖ Préparation de la pâte.
- ❖ Empattage des grilles.

L'opération d'empattage est réalisée dans une machine spécialisée. La pâte provenant du malaxeur est déversée dans une trémie, puis poussée sous pression à travers les différents orifices de la grille. Le schéma ci-dessous représente le processus de production dans cette section.

E. Chambres Hydro setting :

Afin d'assurer la cohésion de la pâte, en favorisant le développement de la cristallisation du sulfate de plomb, d'assurer l'accrochage de la pâte sur la grille support et de faire passer le maximum de plomb métal résiduel à l'état oxyde. La phase du murissage s'avère primordiale.

Cette phase qui se déroule dans des chambres sous certaines conditions de température et d'humidité, commence par un séchage destiné à obtenir un « croûtage » superficiel. Partiellement

séchées, les plaques sont ensuite placées dans des conditions de très haut taux d'humidité, proche de 100 %, et une température de l'ordre de 50 °C, afin de réaliser un « mûrissage » des oxydes.

2.6 Section assemblage de batteries semi-finies

À la sortie du métal déployé c'est-à-dire en sortant des chambres HYDROSETTING dans la section de murissage et séchage les plaques doubles découpées en deux forment des plaques simples assemblées ensuite sous forme d'éléments dans la machine (TEKMAX), chaque élément est constitué d'un nombre bien défini de plaques simples négatives et positives selon le type de batterie.



Figure 6 Détails section assemblage

Pour la première étape, l'objectif est de former des groupes de plaques qui représenteront par la suite des cellules de batteries. Chaque groupe contient un nombre bien défini en plaques simples négatives et positives selon le type de batterie. Cette opération est effectuée par une machine spécialisée qui utilise un séparateur microporeux, pour garantir une isolation électrique entre les plaques positives et négatives.

Les éléments d'une même polarité sont reliés par des connexions à base d'alliage plomb-antimoine (3 % Pb) à l'aide d'une machine de soudage (COS) et placés par la suite dans les cellules dans des bacs

La batterie est ensuite fermée par un couvercle et stockée dans le magasin des produits semi-finis.

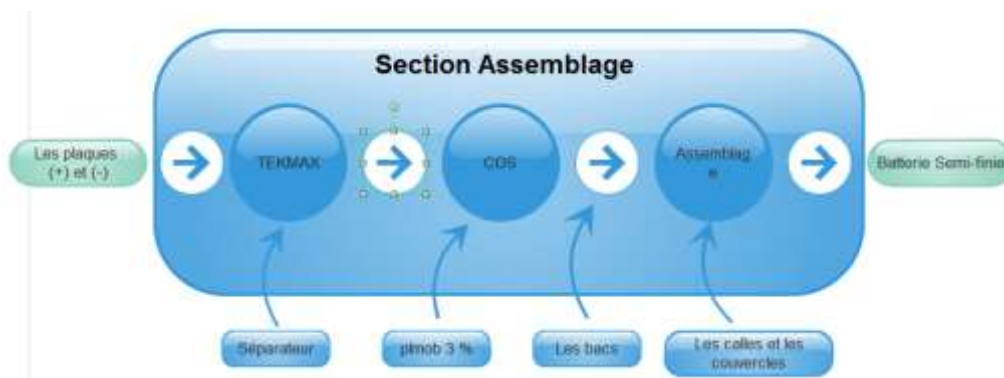


Figure 7 Processus de production dans les deux sections découpage et assemblage

2.7 Section charge et finition

Cette section se compose de deux sections principales : la section charge qui assure le remplissage en acide sulfurique H_2SO_4 et le chargement électrique des batteries, et la section finition pour le lavage, l'étiquetage et l'emballage des batteries chargées.

Les batteries semi-finies doivent passer par l'opération de remplissage et de charge électrique avant leur expédition. Cette opération se fait dans la section charge à l'aide d'une machine dont le

principal paramètre de réglage est le temps de remplissage qui diffère d'une batterie à l'autre selon le volume de cette dernière.

Après le remplissage, les batteries sont classées dans des tables de chargement électrique sous forme de rangée où elles sont alimentées en série par le courant continu venant des chargeurs. Une fois la table est remplie le responsable de la section lance le cycle de charge des batteries qui durent 14 heures.

En fin les batteries chargées passent par une machine de mise à niveau pour ajuster le niveau d'acide défini pour chaque type de batteries, puis vers la section finition.

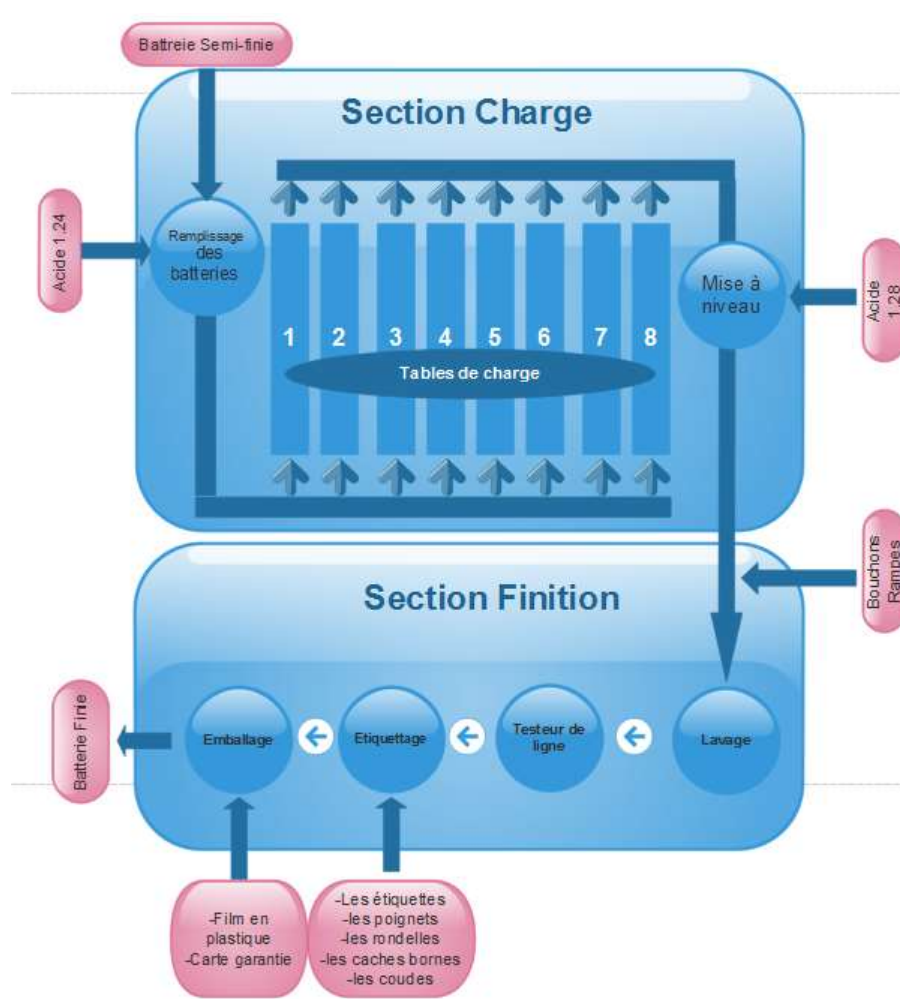


Figure 8 Descriptif du processus de l'unité Charge et Finition

3 Problématique du sujet et méthodologie d'approche

3.1. Problématique

Gérer l'énergie est aujourd'hui une réponse évidente pour faire face aux enjeux grandissant : climat désorienté, prix à la hausse, développement durable...

Il est temps de considérer de près comment se gère l'énergie.

La Norme ISO 50001 - Systèmes de Management de l'Énergie - arrive à temps pour s'imposer dans un contexte plein d'ambition : certains parlent déjà de Troisième Révolution Industrielle, de Smart Industries, d'Usines du futur, alors qu'il y a déjà tant à faire avec la gestion de l'énergie industrielle.

C'est dans cette perspective qu' "AFRIQUE CABLES-ELECTRA" nous a proposée comme sujet « Amélioration du système de gestion d'énergie en temps réel existant et préparation de la mise en place de l'ISO 50001 », et ce dans l'objectif de repérer les possibilités d'économie d'énergie au niveau des différents postes de consommation d'énergie de l'usine en se basant sur la méthodologie de la norme ISO 50001 et en respectant ses exigences.

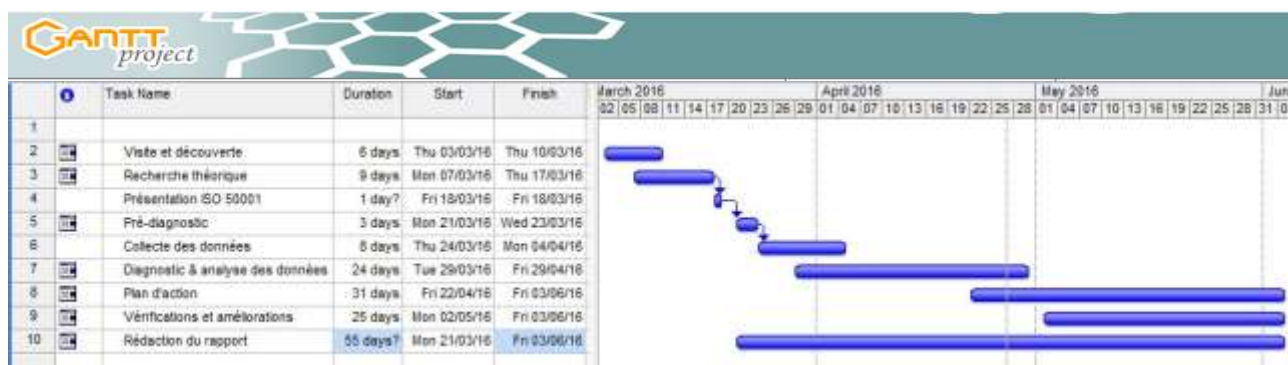


Figure 9 Planning du projet

3.2 Système de Management de l'Énergie

a. Le Système de Management de l'Énergie :

Le Système de Management de l'Énergie a pour objectif de développer une gestion méthodique de l'énergie. Il est l'approche privilégiée pour faire face à l'augmentation durable des prix de l'énergie et des risques liés au changement climatique.

Selon le rapport de l'Agence internationale de l'Énergie, la mise en place d'un système de management de l'énergie permet d'économiser entre 5 et 22% d'énergie. Cet outil est l'élément principal permettant de certifier un organisme ISO 50001 : Management de l'énergie

La certification permet d'afficher l'engagement de l'organisme pour une gestion responsable de l'énergie.

La certification du management de l'énergie sert à :

- Démontrer l'amélioration des performances énergétiques de l'entreprise.
- Démontrer son engagement en faveur d'une gestion responsable de l'énergie.
- Réduire sa facture énergétique.



- Mettre en œuvre un projet collectif pour l'amélioration des bonnes pratiques.
- Pérenniser sa démarche d'efficacité énergétique.
- Réduire les risques financiers liés à l'énergie.
- Anticiper la réglementation.

b. La norme ISO 50001

La norme ISO 50001 est une norme internationale qui est diffusée par l'AFNOR en France. Les étapes principales sont les mêmes que celles des normes ISO 9001 : Management de la qualité, ISO 14001 : Management environnemental et ISO 22000: Management de la sécurité des denrées alimentaires.

En effet, la norme se fonde aussi sur une approche d'amélioration continue dite PDCA : Plan, Do, Check, Act (planifier, faire, vérifier, agir) et suit un modèle cyclique.

L'approche PDCA peut se résumer de la façon suivante :

❖ Plan : Planification

- **Le SMé domaine d'application et périmètre** : exigences générales, identification des activités qui seront concernées par la gestion de l'énergie, identification du site géographique sur lequel s'applique la gestion de l'énergie et des limites organisationnelles.
- **Politique énergétique** : définir la stratégie énergétique, la partager et mentionner les exigences incontournables de la norme ISO 50 001.
- **Équipe d'énergie -Rôles et responsabilités-** : identifier les ressources humaines nécessaires à la performance du système de management de l'énergie.
- **Revue énergétique** : analyser exhaustivement des sources d'énergie, des consommations et des usages.
- **Consommation de référence** : déterminée à partir des données des années précédentes.
- **Indicateurs de performances** : déterminer les indicateurs de performance énergétique qui vont permettre le suivi de la performance énergétique de l'entreprise.
- **Objectifs et cibles** : prévoir à partir des IPés les plans d'action à mettre en place.

❖ Do : mise en œuvre

Déployer le système de management de l'énergie :

- Exploiter les données de la planification.
- Installer les rôles et responsabilités.
- Impliquer les acteurs de l'organisation: le personnel et les managers.
- Instituer des réunions de suivi de l'avancement du plan d'action.
- Mettre en œuvre et initier l'utilisation d'outils d'amélioration tels que les corrections réalisées, les recherches de causes à des dérives et l'implication de la maintenance pour le développement de la maintenance préventive.
- Développer les actions à la fois pour le système de management et l'efficacité énergétique.
- Mettre en place un plan de mesure énergie.
- Finaliser la documentation.

❖ Check : vérification

Évaluation et mesure de :

- L'efficacité des actions réalisées.
- L'efficacité du SMÉ au travers des audits internes.
- L'amélioration de la performance énergétique à l'aide de la consommation de référence et des IPÉs

❖ Act : réaction

- Corriger les non-conformités.
- Recommencer avec les corrections nécessaires.



Figure 10 PDCA

Le travail de ce stage concerne essentiellement la partie Plan de la norme ISO 50001 qui contient essentiellement la politique énergétique de l'entreprise, la revue énergétique, la consommation de références, les IPÉs et les projections pour les plans d'action, et une initiation à la partie Do de la roue de DEMING.

3.3 Périmètre de Travail :

Avant d'entamer un projet de gestion en générale et d'énergie en particulier il faut définir les limites organisationnelles, c'est une exigence importante de la norme.

La première réunion avec l'équipe de travail avait pour but de définir les limites et d'identifier les activités qui seront concernées par la gestion de l'énergie, l'identification du site géographique sur lequel s'applique la gestion de l'énergie.

Dans notre cas l'unité batterie en général tout entier sera notre périmètre de travail et plus particulièrement les sections suivantes :

- Broyage et Réduction
- Affinage
- Métal déployé
- Poids lourds
- Moulage des grilles
- Assemblage
- Charge et Finition

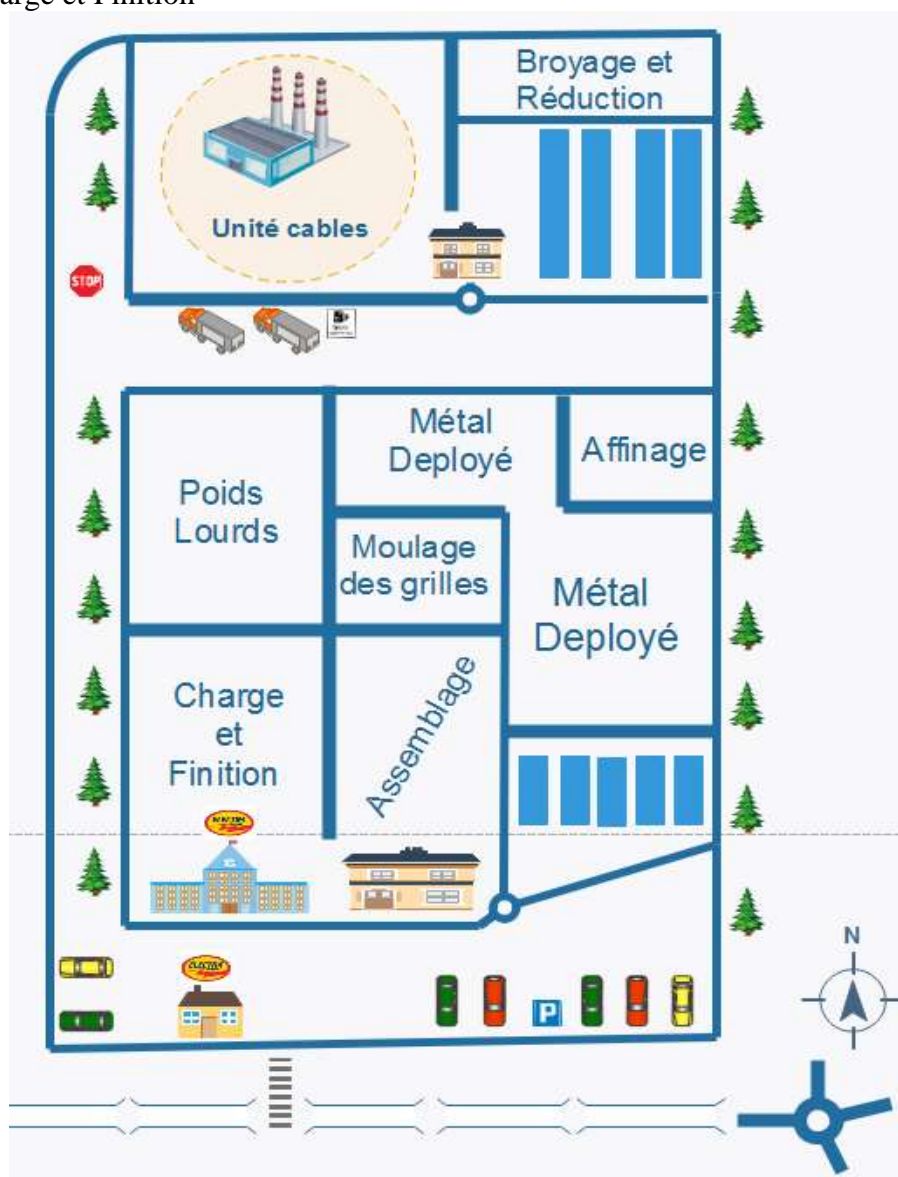


Figure 11 Schématisation géographique de l'entreprise

3.4 Politique énergétique

L'objectif de cette étape est de s'assurer de l'engagement de la direction à améliorer la performance énergétique de l'organisme.

Plusieurs actions sont nécessaires pour mettre en avant la politique énergétique :

- Un engagement pour garantir la disponibilité de l'information et des ressources nécessaires pour atteindre les objectifs et les cibles ;



- Fixer le cadre dans lequel les objectifs et cibles énergétiques sont mis en place et revus
- Adapter et améliorer le patrimoine existant dans l'optique d'améliorer la performance énergétique ;
- Encourager l'achat de produits et de services économes en énergie ;
- Documenter et communiquer régulièrement sur la politique énergétique à tous les niveaux au sein de l'organisme.

Deux documents sont livrés en annexe

1. Un engagement signé par la direction
2. Une politique énergétique contient l'expression formelle de la stratégie énergétique de l'entreprise dans le futur.

3.5 L'équipe de travail

Une équipe « Énergie » a été mise en place au sein d'Afrique câbles unité batterie. Ils se regroupent de façon régulière afin de réaliser un bilan énergétique, et préparer la certification ISO 50001 :

- Deux stagiaires encadrés par M. El Mernissi, Professeur à l'École des Mines de Rabat

En interne, une équipe énergie a été nommée :

- Responsable production M. ETTALIBI Abdelfattah.
- Le directeur industriel M. BOUHMAD Adil.
- Le directeur technique M. EL ACHAM Abdelhamid

Les compétences de cette équipe sont multiples :

- Animer : Sensibiliser tous niveaux et faire circuler l'information
- Gérer : Comptage, mesures et mise à jour des tableaux de bord
- Générer des actions : Plans d'action et contrôle des résultats

Revue énergétique :

1. Pré diagnostique

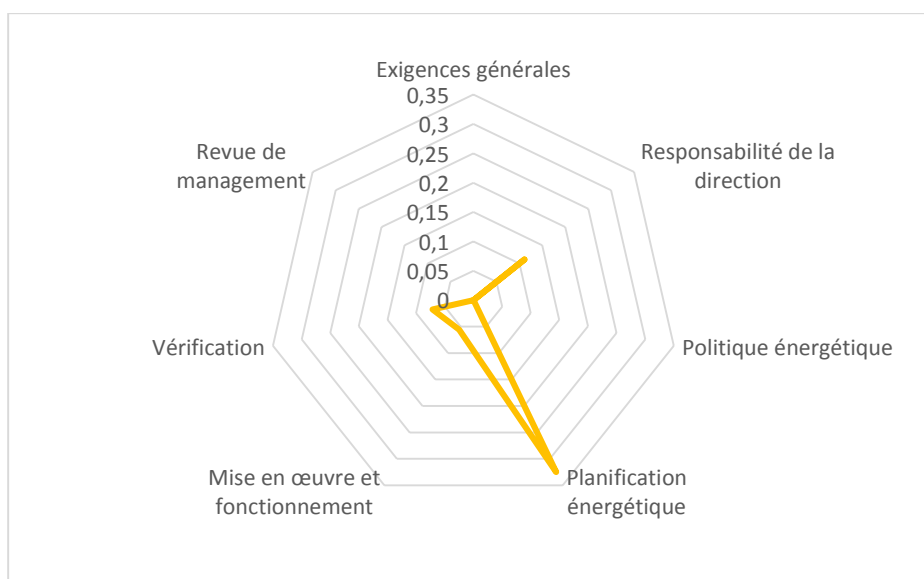
1.1 But du prédiagnostic

Le prédiagnostic constitue la première étape de la démarche d'audit. Il a pour principaux buts:

- ❖ D'apprécier, dans sa globalité, la situation énergétique de l'entreprise et le management de l'énergie.
- ❖ D'informer l'organisme sur le contexte légal du programme d'audits.
- ❖ D'identifier les objectifs et les enjeux stratégiques de l'organisme, ainsi que ses contraintes, besoins, critères et modes de décision d'investissement;
- ❖ De fournir des préconisations relatives à la préparation en vue du diagnostic (mise en place d'un suivi énergétique, mesures, documents) et aux subventions disponibles;
- ❖ De renseigner les éléments techniques déterminant l'ampleur du diagnostic (périmètre d'analyse...) et les compétences requises pour les étapes ultérieures de l'audit.

Dans ce sens, et en se basant sur la norme ISO 50001, on a préparé un questionnaire dont les résultats seront détaillés en dessous pour évaluer la situation actuelle. Le questionnaire lui-même est en annexe 1

1.2 Résultats globales du questionnaire :





1.3 Analyse du questionnaire :

Chapitre de la norme	Sous chapitre	Commentaire	Les actions à prévoir
4.1 Exigences générales	Exigences générales	Un SMÉ n'est pas encore initié : l'organisme n'a pas déterminé comment il va répondre aux exigences de la norme	L'organisme doit : <ul style="list-style-type: none"> Établir un SMÉ définir le domaine d'application et le périmètre du SMÉ déterminer la façon dont il satisfera les exigences de la norme
4.2 Responsabilité de la direction	4.2.1 Direction	La direction n'a pas exprimé formellement un engagement envers l'amélioration de sa performance énergétique	La direction doit : <ul style="list-style-type: none"> s'engager formellement envers l'amélioration de sa performance énergétique mis à disposition l'ensemble des ressources nécessaires pour le projet communiquer l'importance du management de l'énergie au personnel de l'organisme s'assurer que les objectifs et cibles énergétiques sont fixés s'assurer de l'existence des IPÉ et qu'ils sont adaptés
	4.2.2 Représentant de la direction	Représentant de la direction et son équipe ne sont pas désignés	La direction doit : <ul style="list-style-type: none"> désigner un responsable énergie et donner l'approbation de constituer son équipe
4.3 Politique énergétique	Politique énergétique	La politique énergétique n'est pas encore définie	La direction doit définir une politique énergétique qui comprend un engagement : <ul style="list-style-type: none"> d'amélioration continue garantissant la disponibilité de l'information de respect des exigences légales applicables Cet engagement doit être documenté et communiqué à tous les niveaux au sein de l'organisme, et revue régulièrement et mise à jour si nécessaire
4.4 Planification énergétique	4.4.1 Généralités	Le processus de planification énergétique n'est pas défini	L'organisme doit définir une planification énergétique qui doit inclure une revue des activités de l'organisme susceptibles d'impacter la performance énergétique.



		4.4.2 Exigences légales et autres exigences	L'organisme a identifié, mis en œuvre et a accès aux exigences légales	L'organisme doit s'assurer que les exigences légales et autres exigences auxquelles il est souscrit sont prises en compte dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'entretien du SMÉ.
		4.4.3 Revue énergétique	La revue énergétique n'est pas formalisée	L'organisme doit <ul style="list-style-type: none"> réaliser une revue énergétique périodiquement et en conserver les enregistrements analyser les usages et la consommation énergétiques à partir de mesures identifier, d'après les analyses des usages et de la consommation énergétiques, les secteurs d'usage énergétique significatifs
		4.4.4 Consommation de référence	Les consommations de références ne sont pas encore établies	L'organisme doit définir les consommations de références pour chaque vecteur énergétique et pour chaque unité de production
		4.4.5 IPé	Les IPÉS sont établis pour la plupart des unités de production, mais ils ne sont pas revus régulièrement	Les IPÉS doivent être enregistrés et revus régulièrement et comparés à la consommation de référence
		4.4.6 Objectifs et cibles énergétiques	Les objectifs et cibles énergétiques ne sont pas définis	L'organisme doit établir et tenir à jour des objectifs et cibles énergétiques documentés pour chaque unité de production, machine pertinente au sein de l'organisme
4.5	Mise en œuvre et fonctionnement	4.5.2 Compétence, formation et sensibilisation	La plupart des personnes travaillant pour l'organisme ont des notions vagues sur la performance énergétique	L'organisme doit s'assurer que les personnes travaillant pour l'organisme sont informées de l'importance du respect de la politique énergétique par des affiches et l'organisation des formations
		4.5.3 Communication	En interne, l'organisme ne communique pas sa performance énergétique	En interne, l'organisme : <ul style="list-style-type: none"> doit communiquer sur sa performance énergétique doit établir un processus par lequel une personne travaillant pour l'organisme peut faire des commentaires ou suggérer des améliorations sur le SMÉ.



		4.5.4 Documentation	L'organisme ne conserve pas toutes les informations permettant de décrire les éléments essentiels du SMÉ	La documentation du SMÉ doit être conservée sur support papier ou électronique et doit comporter: <ul style="list-style-type: none"> le domaine d'application et le périmètre du SMÉ la politique énergétique les objectifs, cibles et plans d'action en matière d'énergie les documents, y compris les enregistrements requis par la norme
		4.5.5 Maîtrise opérationnelle	Il n'y a pas de suivi des dérives des IPÉS ou des usages énergétiques significatifs	L'organisme doit identifier et planifier les opérations et les activités de maintenance associées à ses usages énergétiques significatifs : <ul style="list-style-type: none"> Avoir des causes possibles de dérive de chaque indicateur
		4.5.7 Achats d'énergie, de produits et d'équipements	L'organisme ne considère pas les opportunités d'amélioration de la performance énergétique lors de l'acquisition des services énergétiques, de produits ou d'équipements	L'organisme doit définir des critères d'évaluation lors de l'acquisition des services énergétiques, de produits ou d'équipements
4.6	Vérification	4.6.1 Surveillance, mesure et analyse	L'organisme ne surveille pas les caractéristiques qui déterminent la performance énergétique	L'organisme doit surveiller au moins : <ul style="list-style-type: none"> les usages énergétiques significatifs les facteurs pertinents associés à des usages énergétiques significatifs les IPÉS l'efficacité des plans d'action. <p>Les résultats de la surveillance des caractéristiques doivent être enregistrés.</p>
		4.6.3 Audit interne du SMÉ	Le SMÉ n'est pas encore initié	L'organisme doit: <ul style="list-style-type: none"> Établir un SMÉ effectuer des audits internes à intervalles planifiés
		4.6.4 Non-conformités, corrections, actions	Le SMÉ n'est pas encore initié	L'organisme doit: <ul style="list-style-type: none"> Établir un SMÉ traiter les non-conformités avérées et potentielles et



		correctives et actions préventives		conserver des enregistrements des actions réalisées
		4.6.5 Maîtrise des enregistrements	Le SMÉ n'est pas encore initié	L'organisme doit: <ul style="list-style-type: none"> • Établir un SMÉ • conserver les enregistrements nécessaires pour démontrer la conformité aux exigences de son SMÉ et de la norme
4.7	Revue de management	4.7.1 Généralités	Le SMÉ n'est pas encore initié	L'organisme doit: <ul style="list-style-type: none"> • Établir un SMÉ • passer en revue le SMÉ de l'organisme à intervalles planifiés, afin de s'assurer qu'il est toujours pertinent, adéquat et efficace
		4.7.2 Éléments d'entrée de la revue de management	Le SMÉ n'est pas encore initié	L'organisme doit: <ul style="list-style-type: none"> • Établir un SMÉ Les éléments d'entrée du SMÉ doivent comporter: <ul style="list-style-type: none"> • le suivi des actions issues des revues de management précédentes; • la revue de la politique énergétique; • la revue de la performance énergétique et des IPÉS correspondants; • le degré d'atteinte des objectifs et cibles énergétiques; • les résultats d'audit du SMÉ; • l'état d'avancement des actions correctives et des actions préventives; • la performance énergétique prévue pour la période à venir; • les recommandations d'amélioration.

Tableau 2 Analyse de la situation de l'entreprise par rapport à la norme

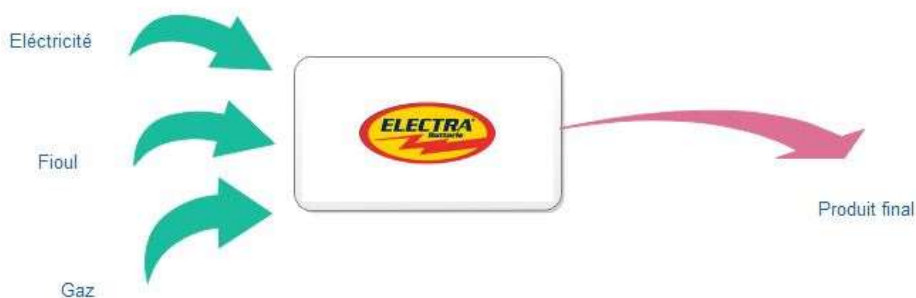
2. Établir la situation énergétique de référence

2.1 Introduction

Mesurer l'ensemble des facteurs énergétiques influents les consommations permet d'identifier des consommations de référence à partir desquelles l'entreprise peut se fixer des objectifs d'amélioration, quantifier les efforts à fournir et mesurer les progrès réalisés. Elles s'appuient sur l'ensemble des données collectées lors des étapes précédentes (revue énergétique).

La situation énergétique de référence est associée à une période qui est généralement l'année. Elle peut être ajustée si des modifications majeures interviennent sur les systèmes (installation de nouveaux process par exemple).

Dès lors que nous avons les consommations totales en gaz, en électricité et en fioul de différentes unités de production, nous nous sommes intéressés aux consommations des différents postes. Dans le cas idéal, nous aurions dû nous occuper des différents postes de chaque unité, mais cela n'a pas été possible vu le nombre des compteurs installés sur le site.



2.2 État des lieux

Afin de pouvoir mener à bien notre étude, la norme exige de mettre en place un état de lieux des différentes consommations énergétiques de l'organisme et de son propre parc des machines dans l'objectif d'avoir une vision claire sur le flux énergétique.

- Concernant les consommations, nous nous sommes basés sur les factures de l'année précédente (à savoir 2015) des différentes directions de l'organisme. Pour la période de l'année 2015, les consommations propres d'ELECTRA étaient :

Vecteur d'énergie	Consommation en 2015	
Électricité	4683461	kWh
Fioul*	88500	kg
GPL	216420	kg

Tableau 3 Consommations propres d'ELECTRA

* L'utilisation du fioul n'a commencé que du début mai 2015, avec l'adoption du nouveau four rotatif de réduction du plomb.

- Concernant le parc électrique, on a fait un inventaire détaillé de toutes les machines pour pouvoir dégager l'ensemble des puissances installées selon les sections. L'inventaire détaillé en annexe 2



Unité	Sous unité	Puissance installée
Recyclage – Réduction	Broyage	81.45 kW
	Four rotatif	18.75 kW + Bruleur 1965 kW
	Affinage	71 kW
Métal déployé	Laminage	31.5 kW
	Déploiement	30.95 kW
	Empattage	34.95 kW
	Chambres Murissage	45 kW / chambre
Assemblage	Assemblage 2	28.75 kW
	Assemblage 3	27.75 kW
Charge et Finition	Charge	51.5 kW
	Finition	18.34 kW

Tableau 4 Inventaire du parc électrique

2.3 Les Indicateurs de performance énergétique et leurs interprétations :

A. Introduction

L'objectif est de déterminer un ou plusieurs indicateurs de performance énergétique, ces indicateurs doivent permettre le suivi de la performance énergétique de l'entreprise et les objectifs qu'elle s'est fixés.

Soucieux d'interpréter et expliquer l'évolution des IPE, nous avons étalé, dans un premier temps, l'ensemble des facteurs ayant une influence d'une manière générale sur l'évolution de ces derniers. Ensuite, nous nous sommes basés sur les tableaux de la gestion de la performance de chaque section où les problèmes sont affichés en plus de la consultation des responsables des unités et des opérateurs afin de dégager les actions menées et les faits ayant marqué la période de notre étude.

B. Indicateurs de performance

Les IPEs définis sont des indicateurs déjà utilisés par l'Entreprise, des indicateurs groupés par énergie par usage et par atelier.

Unité	Indicateur
Assemblage	Ah/kWh
Métal déployé	Plaque/kWh
	Plaque/kg (gaz)
Affinage	kg/kWh
	kg/kg (gaz)
Broyage et Réduction	kg/kWh
	kg/kg (Fioul)
Charge et Finition	kWh/Tonne

Tableau 5 indicateur de performance énergétique par secteur de production

Pour choisir un état de référence des indicateurs de performance, on a pris la moyenne de ces indicateurs sur l'ensemble de l'année 2015.

α. Assemblage :

Période 2015	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Indicateur en Ah/kWh	11.58	13.66	12.7	12.23	11.97	11.82	8.09	18.28	11.07	12.7	11.95	16.32
Moyenne	12.70 Ah/kWh											

Tableau 6 indicateur de performance de référence de l'unité d'assemblage

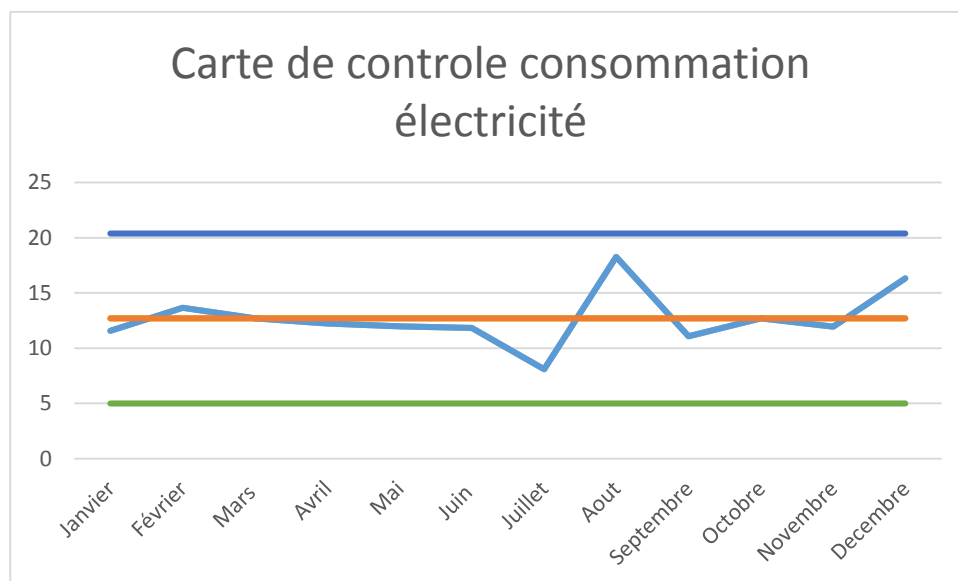


Figure 12 Évolution de l'IPÉ de l'unité d'assemblage

○ Les causes de dérive :

a. Chute de la température des pots de fusion :

Dans chaque ligne d'assemblage, un pot de fusion est utilisé pour fournir le plomb liquide nécessaire au moulage des plaques, ces pots sont ouverts et non calorifugés ce qui nécessite une énergie supplémentaire pour maintenir la température adéquate de fonctionnement

b. Pots de fusion allumés toute la nuit :

Pour ne pas perdre du temps à attendre l'échauffement des pots de fusion du plomb, souvent on laisse les pots allumés de 22 h de la nuit jusqu'à 6 h du matin.

c. Électrovannes de refroidissement des moules :

Les moules utilisés pour coller les plaques sont échauffés par des résistances électriques pour maintenir le plomb liquide jusqu'à qu'elles prennent la forme souhaitée, ce qu'il nécessite de les refroidir pour ne pas les détériorer.

Le système de refroidissement utilise des électrovannes qui tombent parfois en panne ce qui provoque des pertes au niveau du système

b. Métal déployé

Période 2015	Jan vier	Fév rier	Ma rs	Avr il	Mai	Jui n	Juil let	Ao ut	Septe mbre	Octo bre	Nove mbre	Déce mbre
Ind. Elec Plaque/kWh	17,9 85	21,0 29	21, 259	27, 179	23, 653	24, 951	15, 509	26, 435	18,87	16,9 98	19,338	23,97 8
Moyenne	21,43 Plaque/kWh											
Ind. Gaz Plaque/kg(g)	105	133, 57	151 ,67	210 ,88	213 ,57	214 ,61	70, 834	168 ,57	142,75	192, 53	186,26	185,0 7
Moyenne	164,6 Plaques/kg (Gaz)											

Tableau 7 Indicateur de performance de référence de l'unité du métal déployé

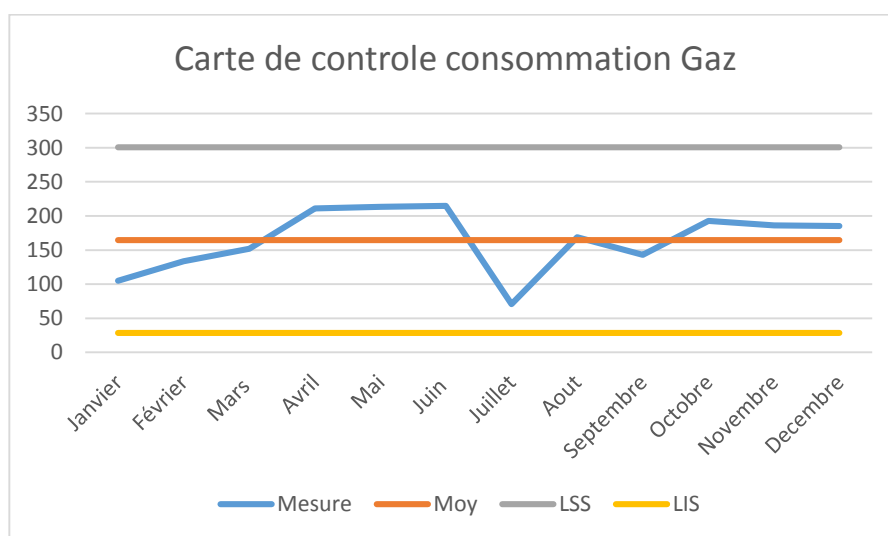


Figure 13 Évolution de l'IPÉ du gaz de l'unité du métal déployé

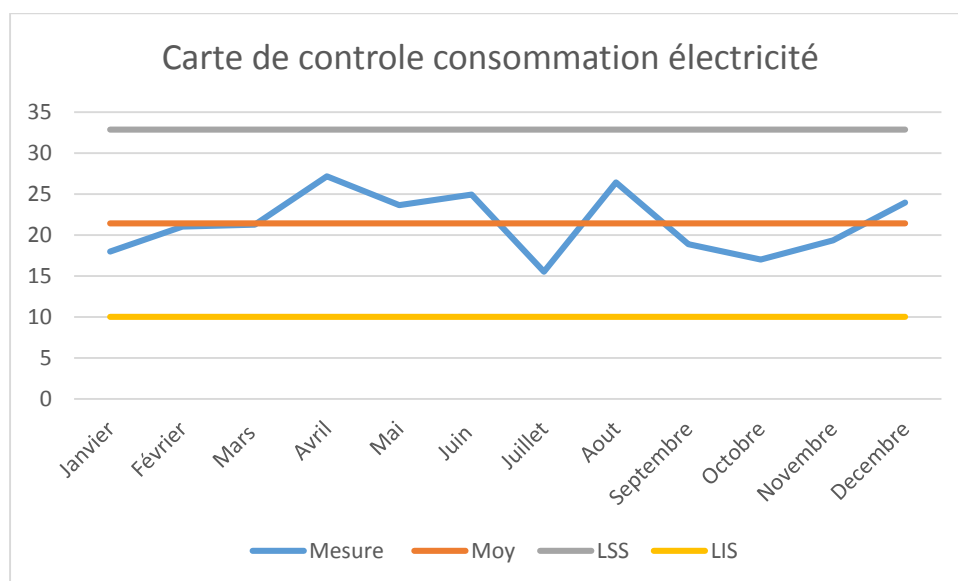


Figure 14 Évolution de l'IPÉ de l'énergie électrique de l'unité du métal déployé

○ Les causes de dérive

a. Fuites au niveau des chambres de Murissage

Les problèmes d'étanchéité des chambres provoquent un appel de courant de plus au niveau des résistances qui les échauffent ce qui donne plus d'énergie consommée

b. Les canalisations de passage du plomb coulé

Pour la fabrication des grilles, on utilise deux fours, un pour la fusion du plomb et un pour son maintien. Pour passer d'un four au deuxième et pour le transférer au moule de fabrication des bobines de plomb, le plomb liquide passe par des canalisations échauffées par des résistances contrôlées par un système central automatisé.

Souvent, des problèmes de programme se posent, qui laissent les résistances des canalisations déclenchées même après la fin du travail des équipes du métal déployé

c. Fuites d'eau au niveau du moule

Des fuites d'eau au niveau du système de refroidissement du moule accélèrent sa détérioration et imposent aux pompes d'eau de consommer de l'énergie inutilement.

c. Affinage :

Période 2015	Janv ier	Févr ier	Mar s	Avri l	Mai	Juin	Juill et	Aou t	Septe mbre	Octo bre	Nove mbre	Déce mbre
Ind. Elec Kg/kWh	82,4 8267	76,9 9033	94,8 7179	100, 8914	58,2 7627	50,4 9784	87,1	130, 555	58,89 205	138, 4678	70,238 76973	95,91 759
Moyenne	87,098 kg/kWh											
Ind. Gaz kg/kg(g)	32,9 9723	30,7 8837	37,9 5269	40,3 6404	23,3 0867	20,2 0495	42,4 7275	52,2 3254	23,55 236	55,3 7125	28,093 23406	38,37 071
Moyenne	35,5 kg/kg (gaz)											

Tableau 8 Indicateurs de performance de référence de l'unité d'affinage

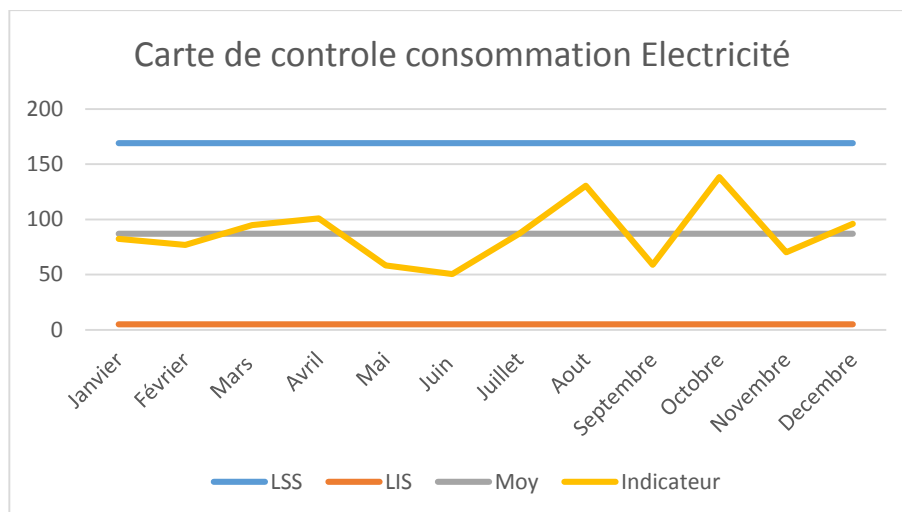


Figure 15 Évolution de l'IPÉ de l'énergie électrique de l'unité d'affinage

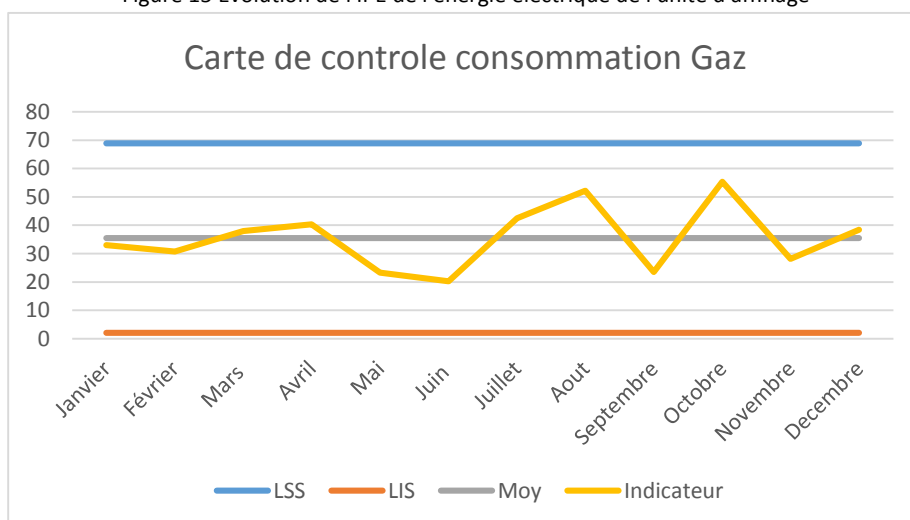


Figure 16 Évolution de l'IPÉ du gaz de l'unité d'affinage

4. Broyage et Réduction :

Période 2015	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septemb re	Octobr e	Novemb re	Décemb re
Ind. Elec Kg/kWh	2,50411 1	3,22214 3	4,6097 9	5,04653 1	5,966264	4,99288 2	1,193068	3,033841
Moyenne	3,8							
Ind. Fuel Kg/Kg(F)	6,30857 1	6,09594 6	9,6	8,13421 1	5,904706	7,91219 5	4,680597	5,391011
Moyenne	6,8							

Tableau 9 indicateur de performance de référence de l'unité de Broyage et Réduction

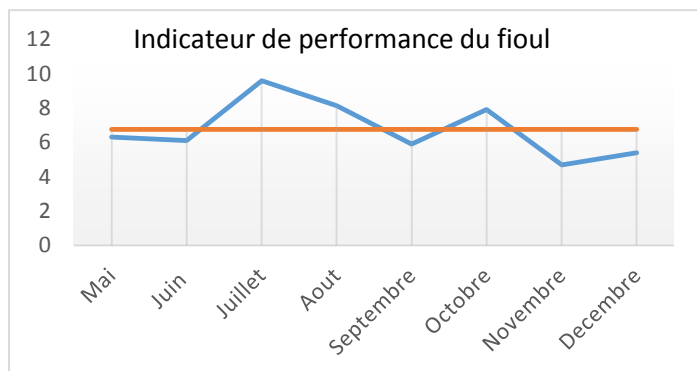


Figure 17 Évolution de l'IPÉ du fioul de l'unité du Broyage

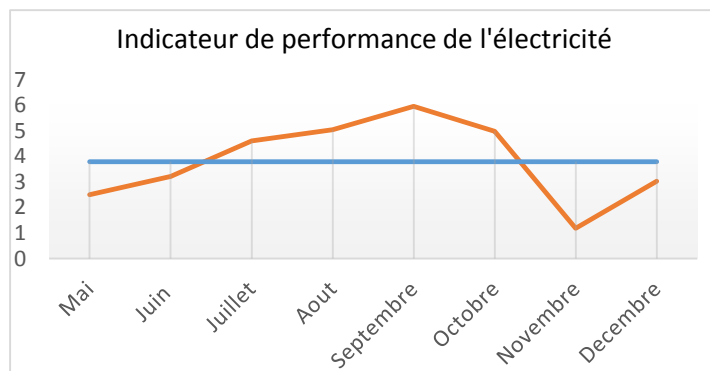


Figure 18 Évolution de l'IPÉ de l'énergie électrique de l'unité du Broyage

○ Les causes de dérive

Le plus grand problème au niveau de l'unité de recyclage est celui de l'organisation, car le four rotatif est laissé souvent ouvert et en marche en attendant la préparation pour le recharger ou pour vider les pots de plomb à l'unité de l'affinage ce qui impose une surconsommation du fioul et de l'électricité

ε. Charge et Finition :

Période 2015	Janv ier	Févr ier	Mar s	Avri l	Mai	Juin	Juill et	Aout	Septe mbre	Octo bre	Nove mbre	Déce mbre
Ind. Elec-15 kWh/Tonne	920, 3986	818, 0705	881, 7123	973, 0706	971, 2461	1121 ,646	1209 ,975	932, 6821	976,1 395	941, 7077	1558, 231	872,5 63
Moyenne	1014,8 kWh/Tonne											

Tableau 10 indicateur de performance de référence de l'unité de charge et finition

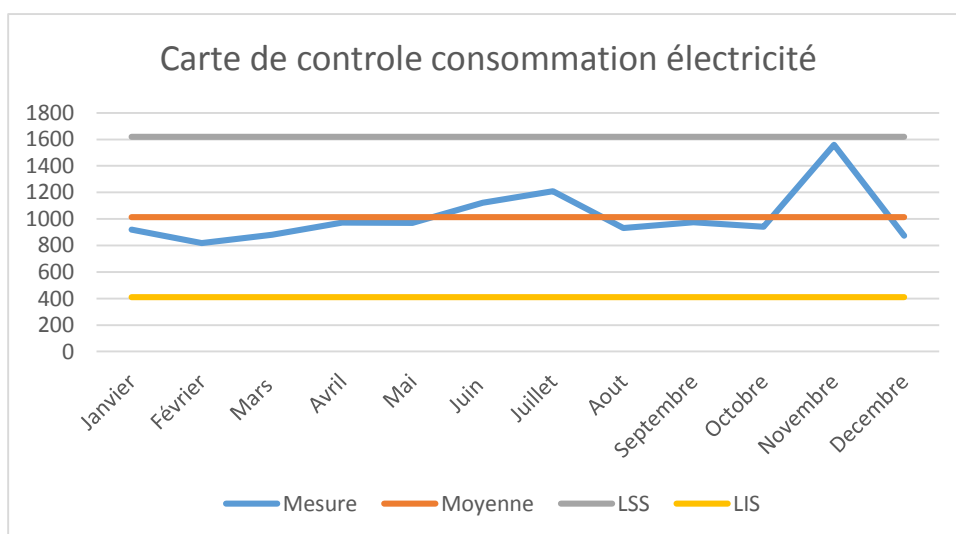


Figure 19 Évolution de l'IPÉ de l'énergie électrique de l'unité de charge et finition



○ Les causes de dérive

a. Complément de charge après fin de cycle :

La charge des batteries s'étale sur plusieurs cycles, la charge est surveillée et contrôlée par un serveur central en connexion directe avec les tables de charge.

Lorsque le contact s'interrompt en milieu de cycle, l'ordinateur central attend jusqu'à la fin de cycle et lance un complément de charge aux tables ce qui engendre de grandes pertes au niveau de la consommation de l'énergie électrique

b. Flotteurs du réservoir d'acide

L'acide sulfurique utilisé pour le remplissage des batteries et pour la préparation de la pâte est rempli dans des réservoirs au niveau de l'unité de pompage.

Dans ces réservoirs, on utilise des flotteurs émergés dans l'acide pour pouvoir connaître son niveau dans les réservoirs.

Ces derniers se détériorent rapidement par effet d'acide ce qui donne un débordement de l'acide et un fonctionnement inutile des pompes

C. Propositions

On a proposé d'ajouter d'autres IPÉs pour un suivi efficace

- Ah/kg (gaz) : Pour suivre la consommation du gaz au niveau des pots de fusion du plomb dans la section « Assemblage »
- kWh/m³ : Pour pouvoir quantifier la performance de la salle des compresseurs spécialement les modifications qu'on a proposées
- kWh/m³ : Pour faire un suivi de la consommation électrique de l'unité du pompage d'acide

Unité	Indicateur
Assemblage	Ah/kg (gaz)
Salle des compresseurs	kWh/m ³
Pompage d'acide	kWh/m ³

Tableau 11 les indicateurs proposés

3. Analyse de production par rapport à la consommation

3.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'évolution de la production et de la consommation d'énergie. L'année de référence choisie pour l'étude est 2015, les données de 2014 seront utilisées seulement s'elles existent. L'analyse des données par régression sera utilisée pour déterminer le potentiel d'optimisation de la consommation énergétique requise pour la production

3.2 Étude de terrain

Les visites ont eu lieu en période de production. Elles nous ont permis de réaliser un état des lieux et d'assimiler le processus de fabrication des batteries au sein de l'entreprise ELECTRA.

Durant ces visites d'audit, certains constats ont été réalisés :

- Estimation de certaines consommations, spécialement celle du gaz ce qui influence la fiabilité des données.
- Le personnel ignore, encore, l'importance d'un audit énergétique.
- L'usine fait un suivi des consommations générales. Cependant, en remarque l'absence d'un suivi des consommations de certaines unités (salle des compresseurs par exemple).

3.3 Profil des consommations

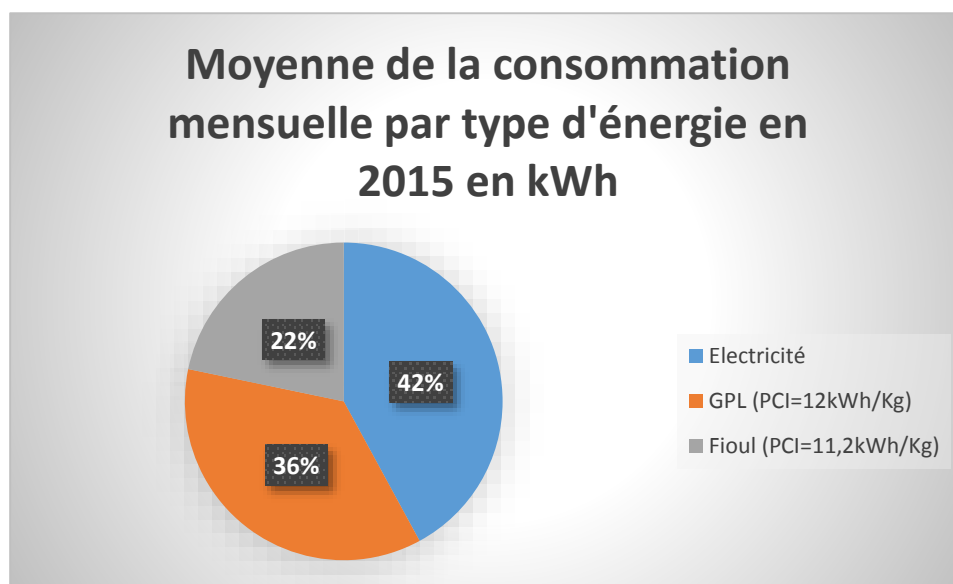


Figure 20 Moyenne de la consommation mensuelle en 2015 par type d'énergie en kWh

Les énergies utilisées au site sont l'électricité, le GPL et le Fioul. La part de chaque énergie en kWh est représentée par la figure ci-dessus (données de 2015).

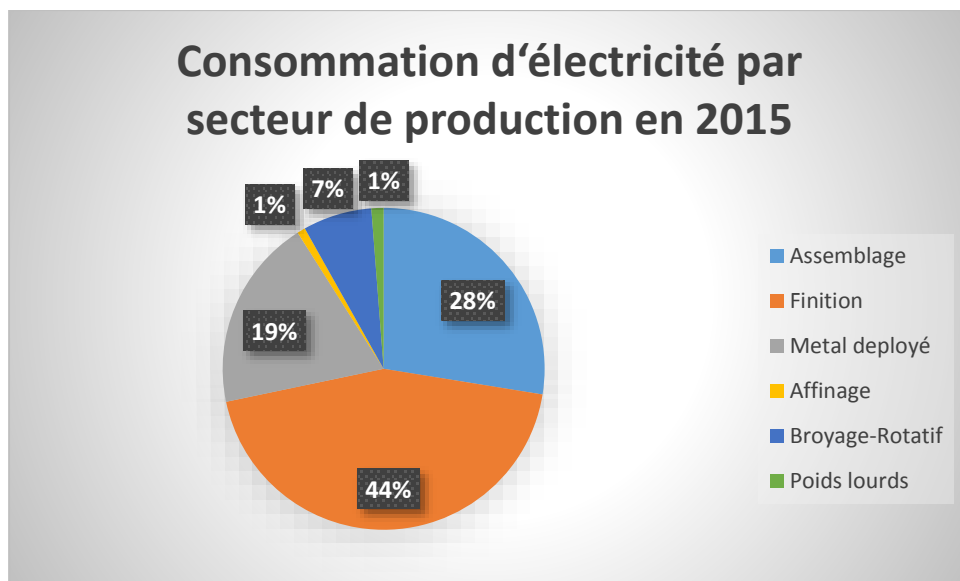


Figure 21 Consommation de l'énergie électrique par secteur de production en 2015

3.4 Évolution de la consommation

La figure suivante illustre la consommation de l'énergie électrique de l'usine.

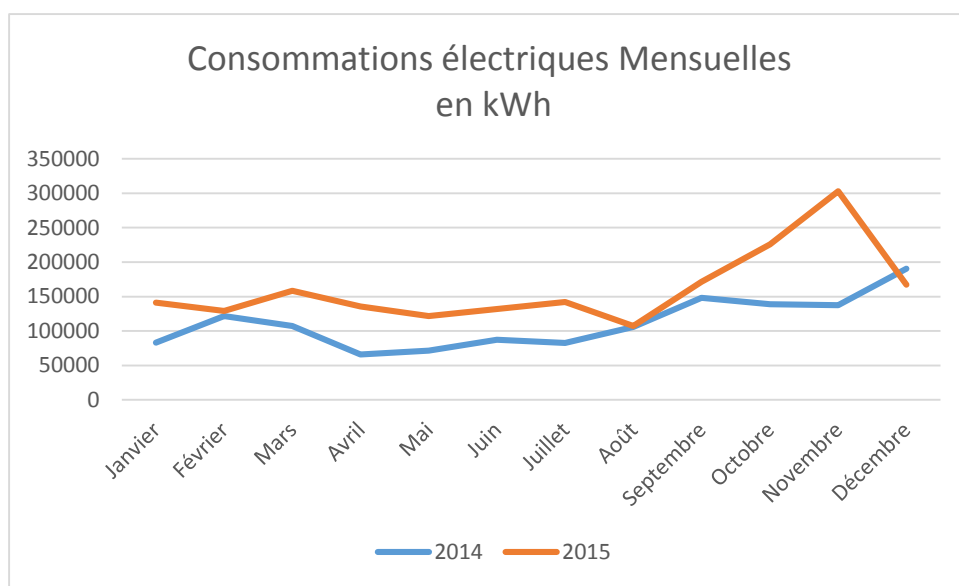


Figure 22 Évolution de la consommation de l'énergie électrique entre 2014 et 2015

On remarque que la consommation de l'énergie électrique en 2015 a augmenté de 44% par rapport à celle de 2014 cela est dû à la montée de la production en 2015.

La figure suivante illustre la consommation du gaz de l'usine.

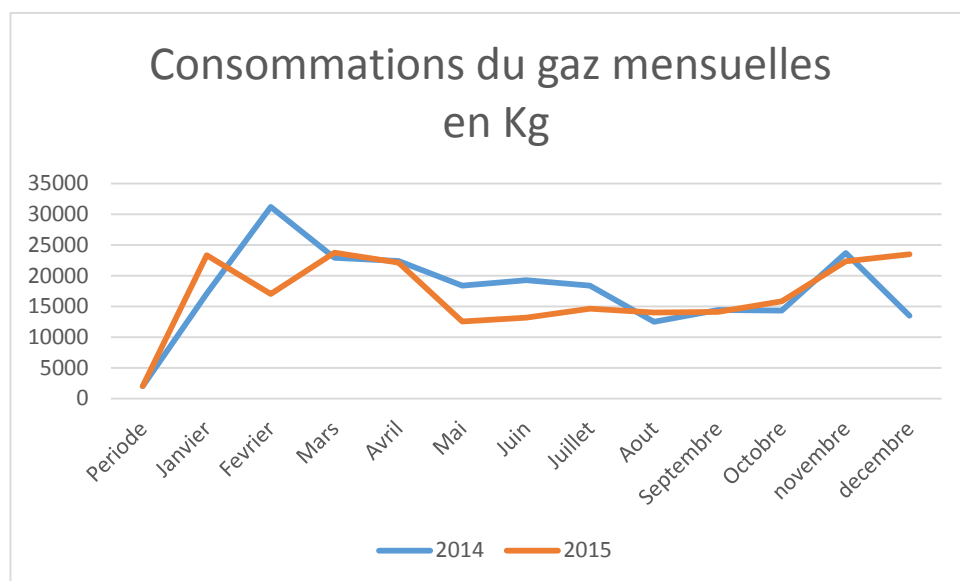


Figure 23 Évolution de la consommation du gaz entre 2014 et 2015

On remarque que la consommation du gaz en 2015 a diminué par 5% par rapport à celle en 2014 cela est dû à l'adoption du nouveau four rotatif qui fonction en fioul à la place du GPL.

Pour la consommation du fioul, on n'a pas assez de données pour les représenter. Car le nouveau Four rotatif qui est le seul équipement qui fonctionne en Fioul est récemment installé.

3.5 Évolution de la consommation spécifique énergétique en fonction de la production

L'analyse par régression linéaire est une technique statistique qui détermine et évalue quantitativement la relation entre les variables. C'est un outil de gestion d'énergie largement utilisé, qui permet d'établir des équations standards pour la consommation d'énergie, et c'est souvent à partir des données qui seraient autrement vides de sens.

Bien que l'analyse dépendante de temps soit un comparatif utile, cette analyse a ses limites, il est difficile d'identifier pourquoi certaines tendances arrivent et quand est ce qu'elles terminent.

L'analyse de régression surmonte ce problème en enlevant l'élément '*temps*' de l'analyse et concentrant au lieu de cela sur la (les) variable (s) qu'influence la consommation d'énergie.

La figure suivante représente la corrélation entre la consommation électrique de l'usine en kWh et la production totale :

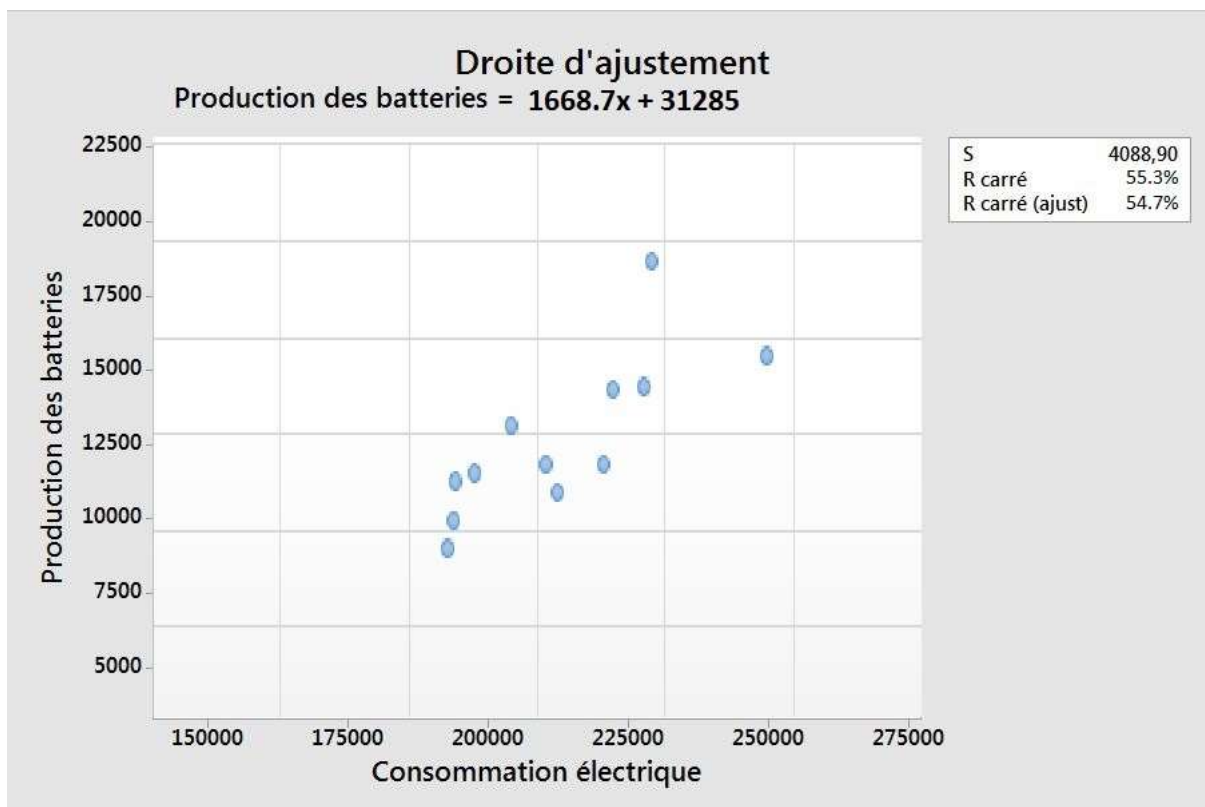


Figure 24 La corrélation entre la consommation de l'énergie électrique de l'usine en kWh et la production totale des batteries

$R^2=0.553$ est inférieure à 1, le modèle n'est pas linéaire, donc la consommation électrique est faiblement liée à la production des batteries

On remarque, d'après la formule de la courbe de tendance, que la consommation fixe mensuelle est de **31285 kWh** tandis que le reste de la consommation se situe à **1668.7 kWh/tonne de produit**.

L'intérêt d'une telle courbe se situe dans le suivi que l'on en fait, l'objectif étant de réduire cette consommation fixe et de réduire le ratio spécifique le plus bas possible.

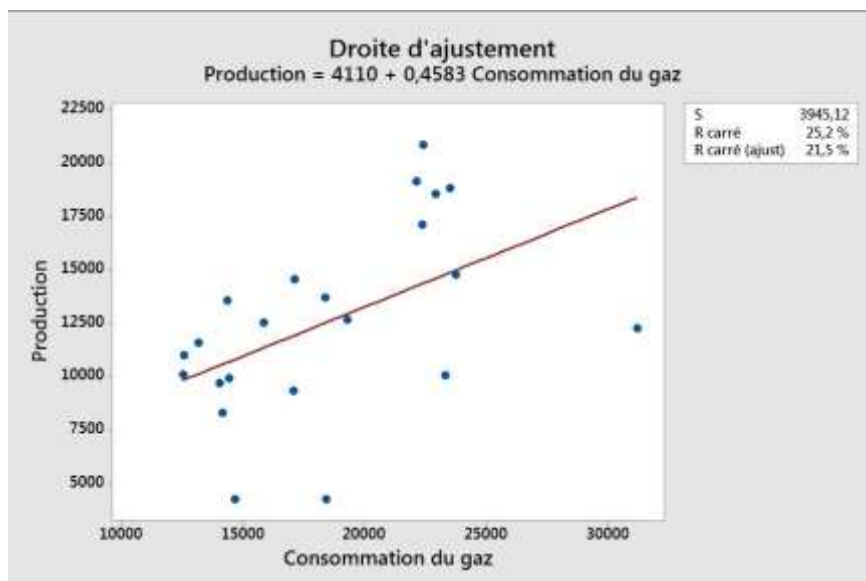


Figure 25 La corrélation entre la consommation du gaz de l'usine en kg et la production totale des batteries

La partie fixe de cette consommation se trouve au niveau des consommations des bureaux, de l'éclairage et autres charges non reliées à la production (la consommation de la salle des compresseurs)

De même pour la production du gaz $R^2=0.252$ est très inférieure à 1, le modèle n'est pas linéaire, donc la consommation du gaz est faiblement liée à la production des batteries.

Cela est dû principalement au fait qu'il n'y a pas assez de compteurs de gaz, et le suivi se fait par estimation la plupart du temps.

3.6 Évolution des consommations de l'énergie en fonction de la production pour chaque unité :

a. Assemblage :

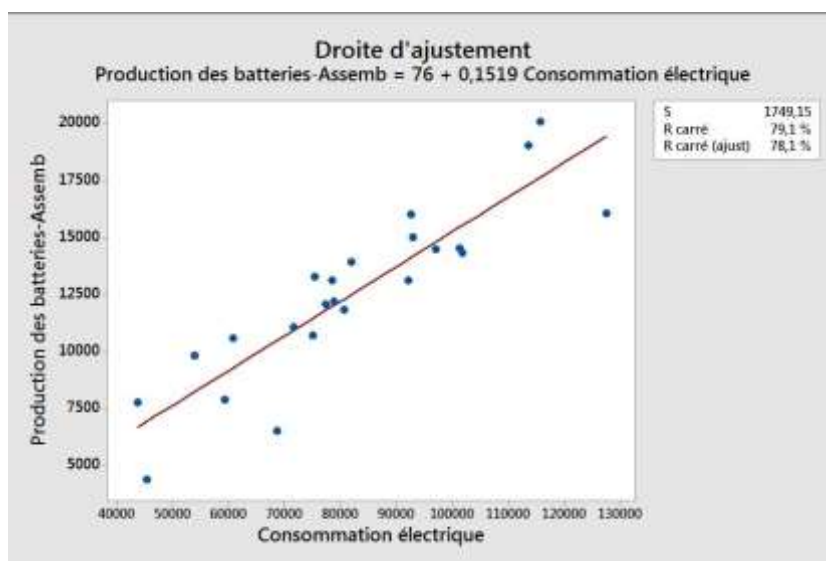


Figure 26 La corrélation entre la consommation de l'énergie électrique de l'unité d'assemblage en kWh et sa production

$R^2 = 0,791$ est proche de 1 donc la consommation de l'énergie électrique est plus ou moins liée à la quantité des batteries produite.

b. Finition :

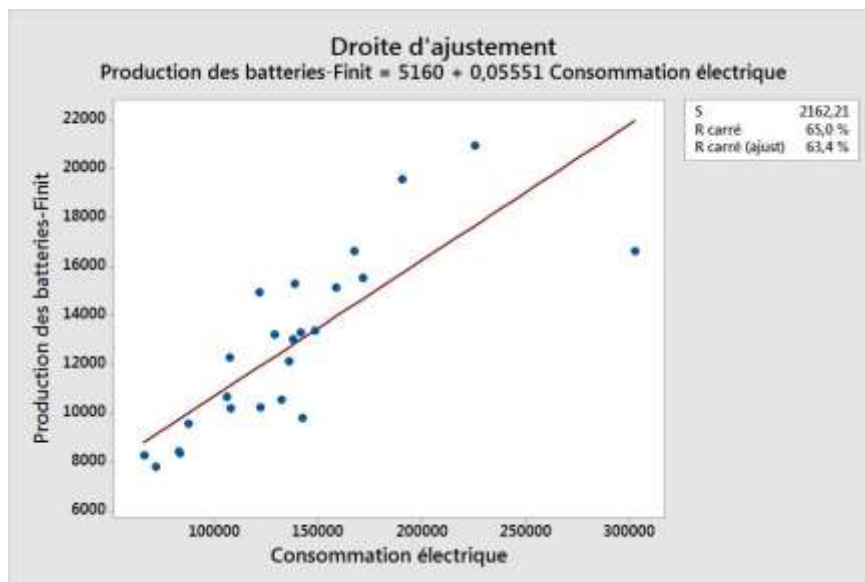


Figure 27 La corrélation entre la consommation de l'énergie électrique de l'unité de finition en kWh et sa production

Coefficient de détermination $R^2 = 0,65$ est peu satisfaisant, donc la consommation de l'énergie électrique n'est pas directement liée à la production des batteries.

c. Métal déployé :

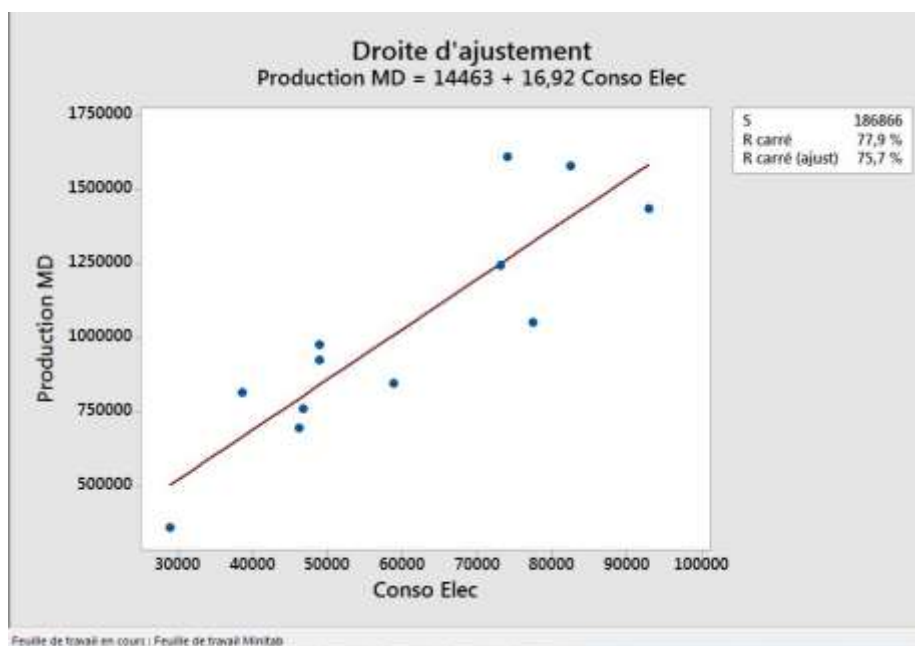


Figure 28 La corrélation entre la consommation de l'énergie électrique de l'unité du métal déployé en kWh et sa production

$R^2=0.779$ donc la consommation de l'énergie électrique est plus ou moins liée à la quantité des batteries produite.

d. Les autres unités de production :

Concernant les autres unités de production et vecteurs énergétiques, on n'a pas pu analyser leur consommation, soit par manque de données, soit parce que le suivi se fait par estimation ce qui donne des résultats erronés !

3.7 Conclusion

Ce chapitre a révélé l'existence d'un potentiel d'optimisation de quantité d'énergie requise pour la production, spécialement dans les systèmes auxiliaires qui ne sont pas comptés comme l'éclairage ou la production de l'air comprimé.

La réalisation de ce gain nécessite le contrôle continu des quantités produites et consommées, en effet le comptage d'énergie sur chaque poste de consommation, ainsi que la production réalisés sur chaque ligne de produit offriront une possibilité de suivi des ratios de production et par la suite entamer des actions d'amélioration dès que ces ratios s'éloignent de la moyenne.



Plans d'action



Évaluation du système de gestion énergétique

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons commencer par évaluer le système de gestion existant, déceler ses points faibles et proposer des améliorations.

2. Situation actuelle

Il existe actuellement un suivi de la consommation énergétique. Ces données sont exploitées sous de forme de tableaux et fichiers Excel affichés dans le bureau du responsable de production. Les données sont enregistrées par les responsables des unités sur des fiches spécifiques pour chaque compteur lors de la fin de chaque quart de travail.

Le système de gestion actuel connaît plusieurs failles. Il est incapable de :

- déterminer la consommation de chaque poste consommateur au sein de l'usine.
- évaluer la qualité de l'énergie électrique.
- déterminer la production et la consommation de plusieurs unités auxiliaires comme la salle des compresseurs, l'unité de pompage d'acide, le filtre du four rotatif...

Il est aussi peu réactif : l'information prend du temps à arriver aux concernés et donc les décisions prises sont souvent en retard.

3. Améliorations proposées :

- Installer un compteur de gaz pour l'unité Assemblage.
- Installer un compteur d'électricité pour les chambres de murissage.
- Installer un compteur pour le filtre dépoussiéreur du four rotatif.
- Installer un compteur d'électricité pour l'unité affinage.
- Faire un suivi pour la salle des compresseurs.
- Faire un suivi pour la station de pompage d'acide.
- Intégrer les consommations énergétiques dans les fiches type de suivi.
- Discuter les IPé dans les réunions de performance quotidiennes.
- Avoir une application informatique pour faciliter le suivi énergétique.

3.1 Suivi de la salle des compresseurs

La salle des compresseurs est l'une des unités les plus consommatrices de l'énergie électrique avec un fonctionnement qui avoisine les 8760h/an, certes on n'a pas de suivi de la consommation énergétique.

Pour faire face à cette situation, on a réalisé une fiche type de cette salle avec une interprétation de son l'IPé qui sera en annexe

3.2 Suivi de la station de pompage d'acide

La même situation que la salle des compresseurs, une fiche sera en annexe

3.3 Intégration de la performance énergétique dans les fiches type de suivi et dans les réunions de performance

A la fin de chaque quart de travail, le responsable de chaque unité inscrit sur une fiche type l'entière des articles consommés et produits et leurs quantités pour retirer les IP, et inscrit sur un

tableau d'affichage l'ensemble des problèmes rencontrés pour les remontés et pour qu'ils soient discutés en fin de la journée avec les responsables des fonctions support de l'entreprise.

Nos propositions :

- Intégrer les consommations énergétiques dans les fiches type de suivi : On a proposé en annexe des exemples des fiches types avec la case énergétiques pour celles qui en manque
- Remonter les problèmes de perte de performance énergétique, et les discuter en réunions de performance quotidiennes pour affronter le problème du retard et sortir avec des solutions immédiates

3.4 Application informatique de suivi énergétique

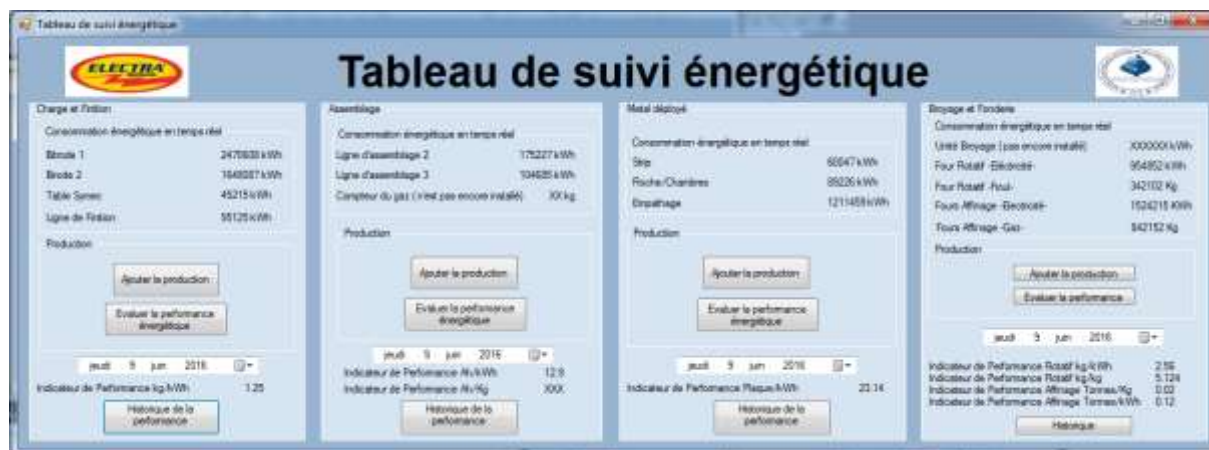
Pour simplifier le suivi énergétique, on a opté à développer une application simple en VB qui sera comme base de données de la performance énergétique.

L'application se distingue par une approche simple et complète des différentes fonctionnalités nécessaire pour un suivi énergétique. Sa présentation dans ce chapitre permet uniquement de se familiariser avec le vocabulaire du logiciel.

La première interface est une interface simple qui limite l'accès à toute personne qui n'a pas les privilèges nécessaires pour accéder aux informations de la consommation énergétique



Après identification, on accède à l'interface principale, cette interface est subdivisée en 4 groupes, chaque groupe correspond à une des unités de production principales au sein de l'entreprise.



On donne un exemple par la case de l'unité de charge et finition.

Les compteurs actuels communiquent avec l'ordinateur du responsable de production avec le protocole Modbus pour donner les consommations en temps réels sous forme de fichier Excel.

L'application extrait les données du fichier Excel et les affiche, et attend de l'utilisateur d'insérer la production journalière pour pouvoir donner l'indicateur de performance énergétique journalier spécifique à chaque unité



Pour insérer la production journalière, on clique sur le bouton « ajouter la production » et la fenêtre suivante s'affiche

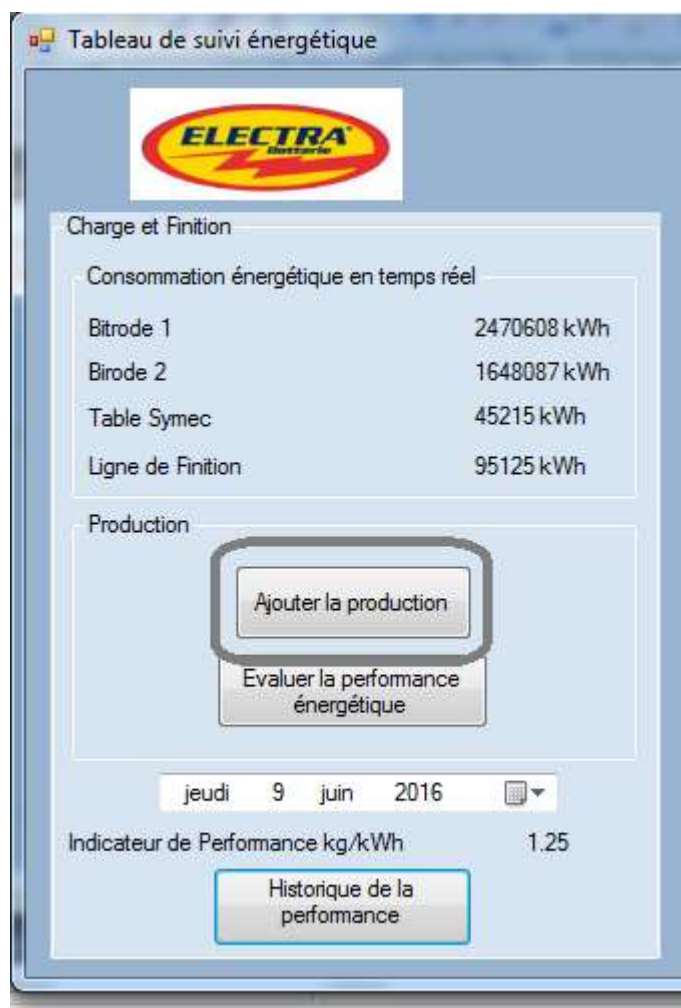


Tableau de suivi énergétique

ELECTRA

Charge et Finition

Consommation énergétique en temps réel

Bitrode 1	2470608 kWh
Birode 2	1648087 kWh
Table Symec	45215 kWh
Ligne de Finition	95125 kWh

Production

Ajouter la production

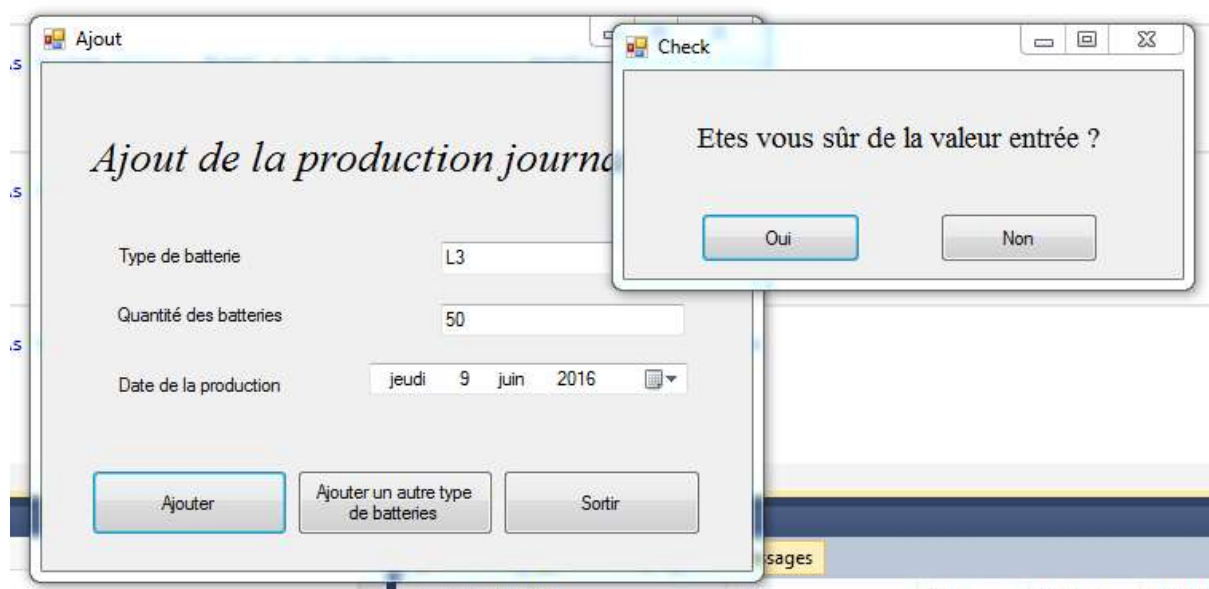
Evaluer la performance énergétique

jeudi 9 juin 2016

Indicateur de Performance kg/kWh 1.25

Historique de la performance

On ajout la production, et on confirme les données insérés



Ajout

Ajout de la production journalière

Type de batterie L3

Quantité des batteries 50

Date de la production jeudi 9 juin 2016

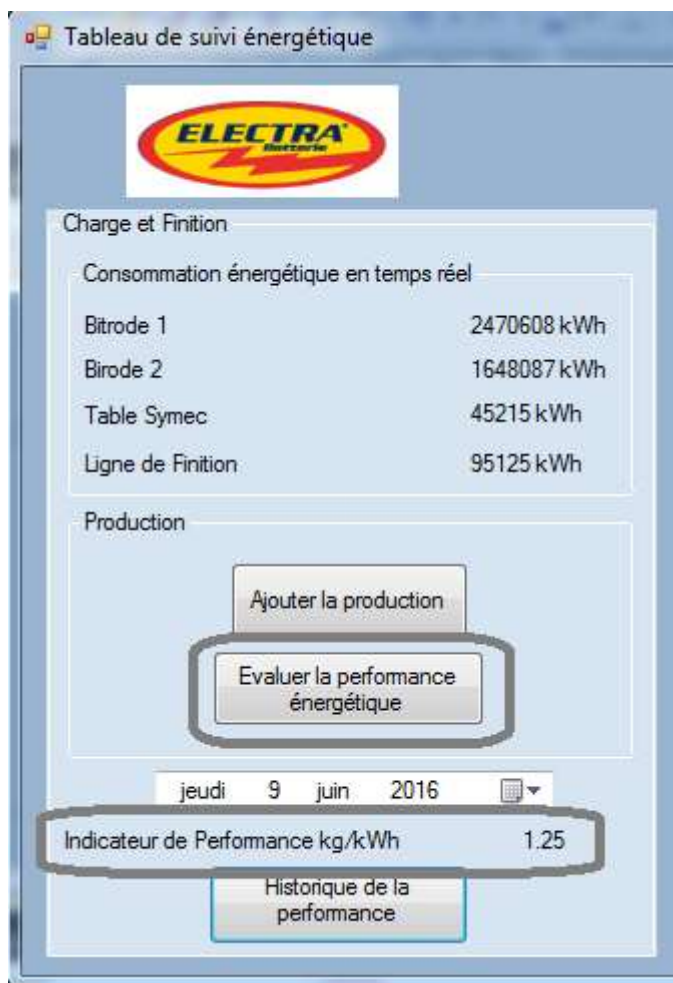
Ajouter **Ajouter un autre type de batteries** **Sortir**

Check

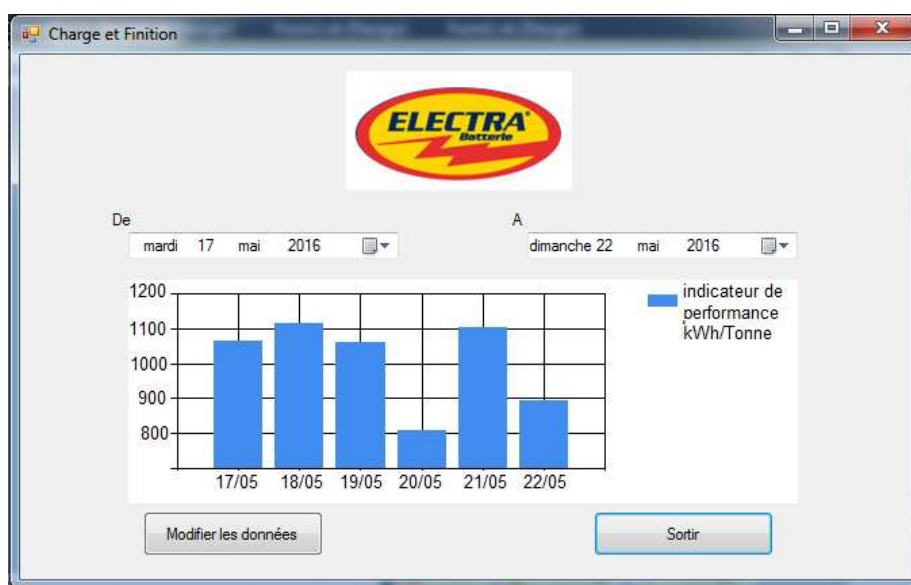
Etes vous sûr de la valeur entrée ?

Oui **Non**

Et on clique sur «Evaluer la performance énergétique » pour calculer l'IPé du jour



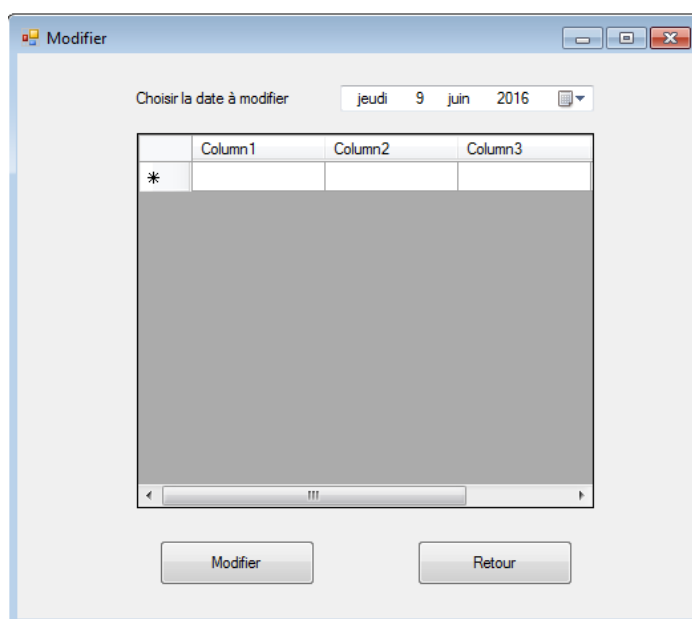
Pour accéder à l'historique de la performance énergétique, on clique sur « Historique de la performance » et l'interface suivante s'affiche



Où on peut soit, visualiser la performance des dates choisies sous forme de diagramme, soit, de modifier les données déjà enregistrées. Mais avant de pouvoir modifier les données enregistrées on doit s'identifier pour ne pas mettre en péril l'historique de la performance énergétique



Après identification la fenêtre suivante s'affiche pour pouvoir choisir la date où on veut modifier



4. Conclusion

Dans ce chapitre on a d'abord commencé par faire un état des lieux pour dégager les lacunes du système mis en place afin de proposer les recommandations nécessaires pour l'améliorer et présenter une application pour faciliter le suivi de la performance énergétique.

Compensation de l'énergie réactive et filtrage des harmoniques

1. Amélioration du facteur de puissance

1.1 Introduction

Le facteur de puissance d'une installation est le quotient de la puissance active (kW) consommée par l'installation à la puissance apparente (kVA) fournie à cette installation. Il est donné par la formule suivante si on suppose que l'onde électrique est parfaitement sinusoïdale (on néglige les harmoniques):

$$\cos \Phi = P/S$$

La figure suivante récapitule le facteur de puissance mensuel de l'année 2015 :

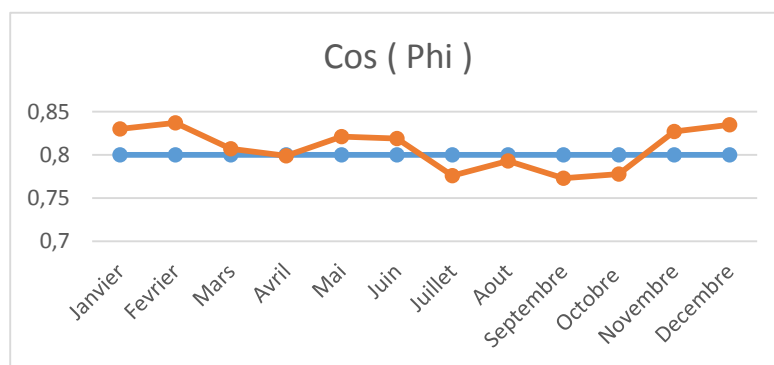


Figure 29 Évolution du facteur de puissance en 2015

Nous constatons que le facteur de puissance n'est pas toujours supérieur à 0,8, ce qui a engendré des pénalités de 29920,67 DH en 2015.

1.2 Bienfaits d'un facteur de puissance proche de 1

L'amélioration du facteur de puissance à une moyenne proche de 1 offre des économies considérables à savoir :

- économie sur le dimensionnement des équipements électriques, car la puissance appelée diminue.
- Augmentation de la puissance active disponible au secondaire des transformateurs.
- Diminution des chutes de tension et des pertes en lignes.
- Économie sur la facture d'électricité, en supprimant la consommation excessive d'énergie réactive.
- Retour sur investissement rapide.

On peut alors améliorer notre facteur de puissance de façon qu'il atteigne la valeur 0.95 à l'aide d'une source d'énergie réactive. Cela aidera à optimiser de nouveau la puissance souscrite demandée.

La figure ci-dessous montre la représentation vectorielle de la compensation.

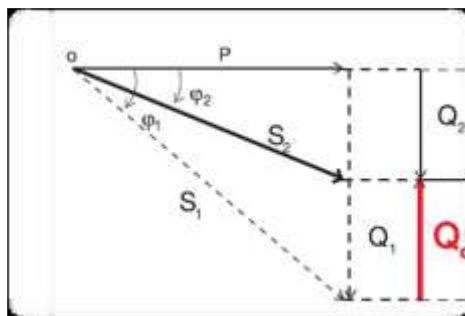


Figure 30 Représentation vectorielle de la compensation

1.3 Équipement de compensation

La compensation de l'énergie réactive s'effectue en choisissant entre deux systèmes d'équipements

- **système à compensation fixe** : utilisant des condensateurs de valeur fixe délivrant une puissance réactive constante.
- **Système à compensation automatique** : mettant en jeu une batterie de condensateurs divisée en gradins et commandé par un régulateur (relais varmétrique). Ce dernier adapte la puissance réactive fournie aux besoins de l'installation en fonction du facteur de puissance.

La règle générale pour le choix entre condensateurs fixes et batterie de condensateurs à régulation automatique :

$$Q_c / S_n < 15 \% : \text{compensation fixe}$$

$$Q_c / S_n > 15 \% : \text{compensation automatique}$$

Q_c : puissance réactive de l'équipement de compensation, en kVAR.

S_n : puissance apparente du transformateur de l'installation, en kVA.

Nous proposons :

- De corriger le facteur de puissance pour qu'il soit de l'ordre de 0,95 par une compensation de l'énergie réactive globale sur le TGBT

1.4 La compensation de l'énergie réactive globale sur le TGBT :

La puissance réactive nécessaire à la correction du facteur de puissance globale de l'usine est donnée par la formule suivante :

$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

Avec :

- P : la puissance maximale appelée déduite des factures électriques des années 2014 et 2015
- Tan phi 1 : le facteur de puissance minimum sur la période des deux années 2014 et 2015
- Tan phi 2 : le facteur de puissance souhaité, dans notre cas c'est 0.95

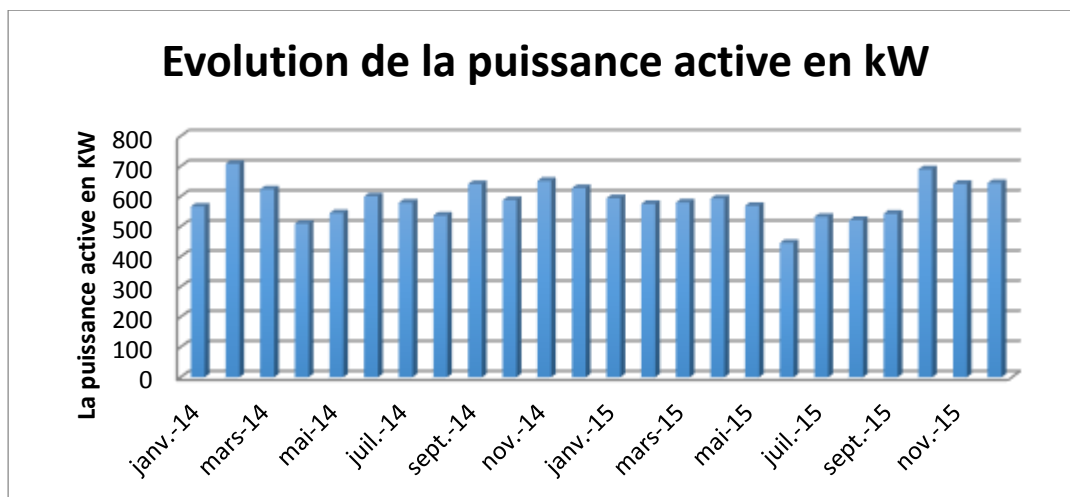


Figure 31 Évolution de la puissance active en kW

Période	Puissance souscrite	Dépassement (kVA)	Cos (phi)	puissance appelée en KVA	la puissance active en kW
Janvier – 15	600	116	0,83	716	594,28
Février – 15	600	87	0,837	687	575,019
Mars – 15	600	119	0,807	719	580,233
Avril – 15	600	142	0,799	742	592,858
Mai – 15	600	93	0,821	693	568,953
Juin – 15	650	-106	0,819	544	445,536
Juillet – 15	650	36	0,776	686	532,336
Août – 15	650	8	0,793	658	521,794
Septembre – 15	650	52	0,773	702	542,646
Octobre – 15	650	237	0,778	887	690,086
Novembre – 15	650	126	0,827	776	641,752
Décembre – 15	650	122	0,835	772	644,62

Tableau 12 La puissance réactive à compenser

Cos phi 1	Cos phi 2	Puissance (kW)	Puissance à compensé (kVAR)
0.773 AR	0.95 AR	708	384

Tableau 13 Puissance réactive nécessaire à la correction de facteur de puissance

Alors dans notre cas il est indispensable d'utiliser des systèmes à compensation automatique, car :

$$\frac{Q_c}{S_n} = 19.23 \% > 15 \%$$

Après une étude faite sur les batteries existantes sur terrain, on a pu remonter avec les notes et remarques suivantes :



- ELECTRA dispose d'une armoire contenant 5 gradins dont la puissance réactive de chacun est 60 kVAR
- Un seul gradin qui est en fonctionnement, les autres sont hors service
- Deux batteries de 60 kVAR sont disposées sur les deux transformateurs
- Pour la section charge, on constate des valeurs élevées de THDi et THDu
- Pour résoudre cette différence entre la situation actuelle est la situation idéale nous proposons de :
 - Maintenir les 4 gradins qui sont en panne.
 - Ajouter des nouvelles batteries pour compenser la différence 90.45 kVAR (3 blocs de 30 kVAR)
 - Implanter des filtres actifs pour remédier au problème des harmoniques au niveau des 2 chargeurs (Bitrode)

1.5 Gain de la compensation :

a. Gain au niveau de la puissance appelée

Le calcul détaillé est en annexe 4

	Gain en KVA	Gain en DH
Total	1287	39861

Tableau 14 Gain au niveau de la puissance appelée

b. Optimisation de la puissance souscrite après compensation

Après l'amélioration du facteur de puissance, les puissances optimales doivent être recalculées pour déterminer la puissance adéquate pour chaque saison et dégager le bénéfice de cette détermination

Une étude de la production annuelle déjà faite dans la partie de l'analyse des factures de l'approvisionnement en électricité nous a mené à diviser l'année en 2 saisons

Détermination des puissances optimales après compensation

Les tableaux en annexe 3 regroupent les redevances mensuelles de puissance en DH en fonction des différentes puissances souscrites de chaque saison avant compensation, et les tableaux en annexe 4 ces mêmes redevances après compensation

Alors les puissances optimales sont :

	Après compensation	Avant compensation	Gain
Période de haute production	600 kVA	700 kVA	100 kVA
Période de haute production	500 kVA	650 kVA	150 kVA

Tableau 15 Puissance souscrite optimale après compensation

Gain au niveau de la puissance souscrite :

Le calcul détaillé est en annexe 4

	Gain en KVA	Gain en DH
Total	850	30826

Tableau 16 Gain au niveau de la puissance souscrite

1.6 Gain au niveau du dépassement :

Le calcul détaillé est en annexe 4

	En KVA	En DH
Différence	483	26293

Tableau 17 Gain au niveau du dépassement

1.7 Gain de l'amélioration du facteur de puissance :

Type du gain	Le gain réalisé
Gain au niveau de la puissance appelée	39862
Gain au niveau de la puissance souscrite	30826
Gain au niveau du dépassement	26293
Pénalités évitées en DH	29921
Total des gains	126901
Investissement	~120000
Temps de retour	12 mois

Tableau 18 Gain de l'amélioration du facteur de puissance

2. Filtrage des harmoniques

2.1 Introduction

Les équipements faisant appel à l'électronique de puissance (variateurs de vitesse, redresseurs, onduleurs...) sont responsables de la circulation de courants harmoniques dans les réseaux. Ces harmoniques perturbent le fonctionnement de nombreux dispositifs. En particulier, les condensateurs y sont extrêmement sensibles du fait que leur impédance décroît proportionnellement au rang des harmoniques présents.

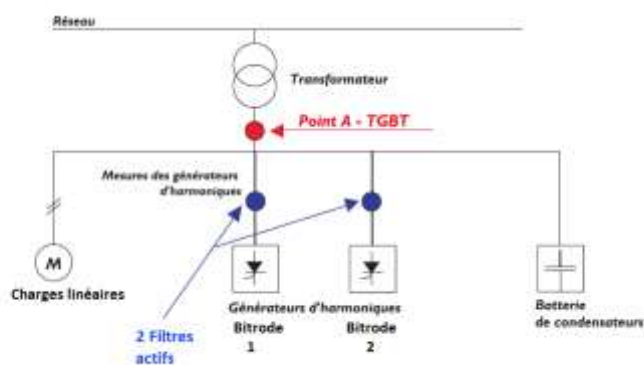


Figure 32 Schéma du réseau électrique

Dans certaines circonstances, des phénomènes de résonance peuvent se produire entraînant une forte distorsion de tension et la surcharge des condensateurs.

2.2 Équipements de filtrage des harmoniques :

Selon les valeurs moyennes du taux de distorsion d'harmonique THD de la tension et du courant, différents types de condensateurs doivent être choisis, associés éventuellement à des inductances.



Le tableau suivant résume les différents choix possibles :

THD-U (%)	THD-I (%)	Type de renforcement à utiliser
<2	<15	type standard
2<THD-U<3	15< THD-I <30	type renforcé
>3	<15	type renforcé 440 V ou 500 V + self anti-harmonique
	>30	filtre harmonique

Tableau 19 Type de filtrage à utiliser

a. Filtrage actif

Alors il est nécessaire d'installer des filtres harmoniques actifs sur les 2 bitrodes de la section charge, car c'est la section génératrice d'harmoniques dans le réseau, le filtre approprié est le filtre actif, car il présente les avantages suivants :

- Filtrage sur une large bande de fréquence (élimination des harmoniques du rang 3 à 25).
- S'adapte à toutes variations de charge et de spectre harmonique
- Étude simplifiée par rapport aux autres types (dimensionnement des condensateurs et des selfs dans le cas d'un filtre passif)

Le filtre actif est un convertisseur statique dont son principe se base sur l'injection des courants en opposition de phase et d'amplitude, dans le réseau des harmoniques, telle que :

2.3 Impact économique :

Les pertes par effet joule induites par les courants harmoniques dans les conducteurs et équipements sont à l'origine des pertes énergétiques supplémentaires, nous allons faire, le rapport entre les pertes joules avec et sans présence des harmoniques

- Les pertes Joule sans harmonique dans la section charge :

$$P_j = R I^2$$

- Par contre, celle des harmoniques s'écrit sous la forme :

$$P_{jh} = R I_h^2$$

- Avec I : le courant sans harmoniques circulant dans les câbles de la section charge
- Et I_h : le courant avec existence des harmoniques
- R : la résistance équivalente du câble

L'analyse de réseau effectué a donné les valeurs suivantes :

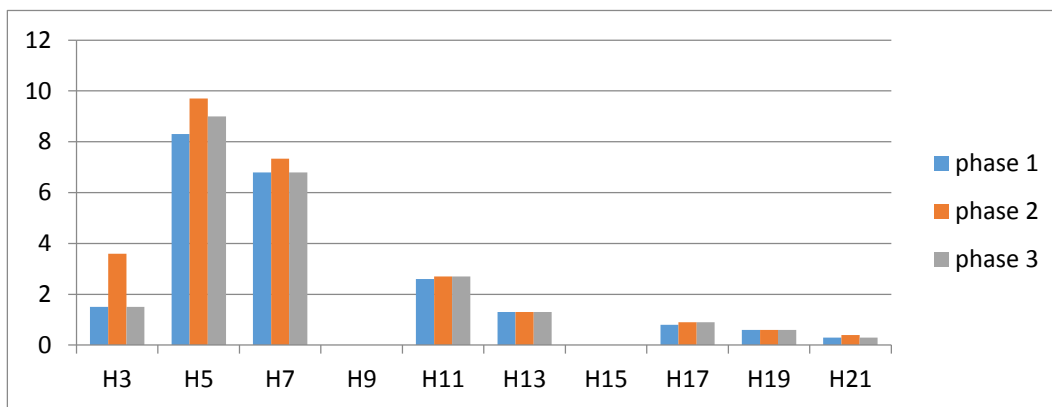


Figure 33 Les valeurs de chaque rang d'harmoniques

Donc un THD-I moyen = 78.5

L'objectif de notre étude est de réduire ce taux à 10 % et par conséquent réduire les dépenses relatives aux pertes liées à l'effet joule dans les câbles.

Selon la formule suivante :

$$\frac{I_{eff}}{I_h} = \frac{1}{\sqrt{1 + THD I^2}}$$

	Avant filtrage -1-	Après filtrage -2-
THD I	78.5%	10%
I_{eff}/I_h	0.7885	0.995
Le courant d'harmonique moyen (A)	387.7	307.21

$$\frac{P_j \text{ avant filtrage}}{P_j \text{ apres filtrage}} = 0.6278$$

Nous remarquons une diminution des pertes Joule dans les conducteurs de 37.22 % si le THD passe de 78.5% à 10%

Sachant que les pertes Joule peuvent aller jusqu'à 5% de la puissance totale consommée dans une usine ou une section

Gain de l'élimination des harmoniques :

Le type du gain	Le gain réalisé
La consommation annuelle de la charge kWh/an	1934450 kWh/an
Les pertes par effet joules (5%)	96722 kWh/an
Le gain annuel en kWh	36000 kWh/an
Émissions de CO2 évitées	27576 kg/An
Le gain annuel en DH	29520 DH/an
Investissement	~30000 DHs
Temps de retour	1 année

3. L'air comprimé

3.1 Introduction

Dans l'industrie, l'air comprimé est un vecteur énergétique unanimement adopté qui transporte la puissance, l'énergie et le travail, c'est une « utilité » : son usage peut devenir très large notamment dans les cas où l'utilisation directe de l'électricité pour alimenter des outils ou des appareils se révèle peu pratique, voire dangereuse.

L'air comprimé a pourtant ses contraintes, il est cher : si, au départ, l'investissement pour comprimer de l'air est relativement abordable comparé aux autres solutions de puissance existantes, le bilan économique devient radicalement différent une fois pris en compte l'investissement des auxiliaires de la centrale et surtout les coûts d'exploitation de l'installation globale, dépenses conséquentes souvent fortement sous-estimées. Car l'efficacité énergétique de l'air comprimé est généralement médiocre.

3.2 Évaluation et étude de la situation actuelle de l'installation d'air comprimé

Au sein d'ELECTRA on dispose de 3 compresseurs rotatifs à vis lubrifié fonctionnent selon le mode Marche à vide.

La figure suivante représente un synoptique de la salle des compresseurs :

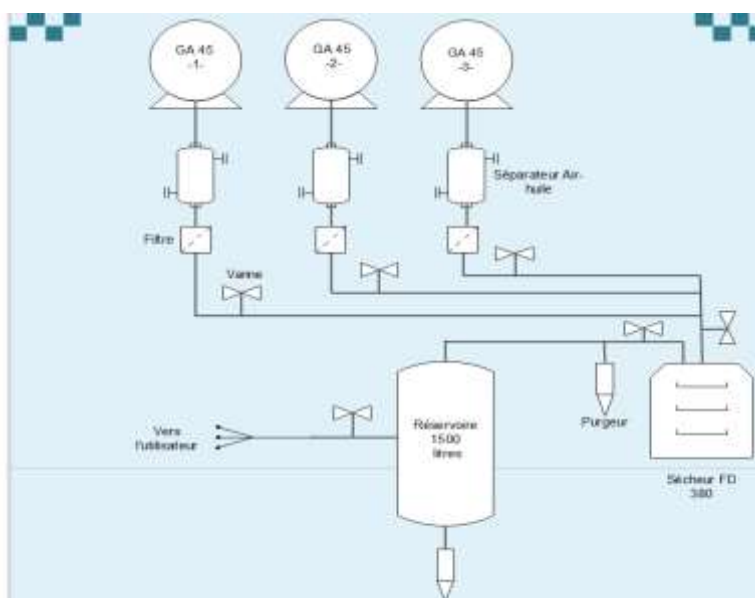


Figure 34 L'unité de production de l'air comprimé au sein d'ELECTRA

D'après Atlas Copco, le fournisseur des installations du système de production de l'air comprimé à ELECTRA, le coût initial de l'équipement et de son installation représentera seulement 13% sur une période de dix ans d'utilisation. Pour cela, il est capital de concevoir et d'acheter les composants les plus efficaces pour le système d'air comprimé.

Les facteurs à prendre en compte pour le calcul sont les suivants (paramètres énergétiques) :

- La consommation spécifique d'électricité globale (liée à la compression, au refroidissement et au séchage)
- Les coûts de la maintenance (directs et indirects)
- Amortissements annuels de l'installation

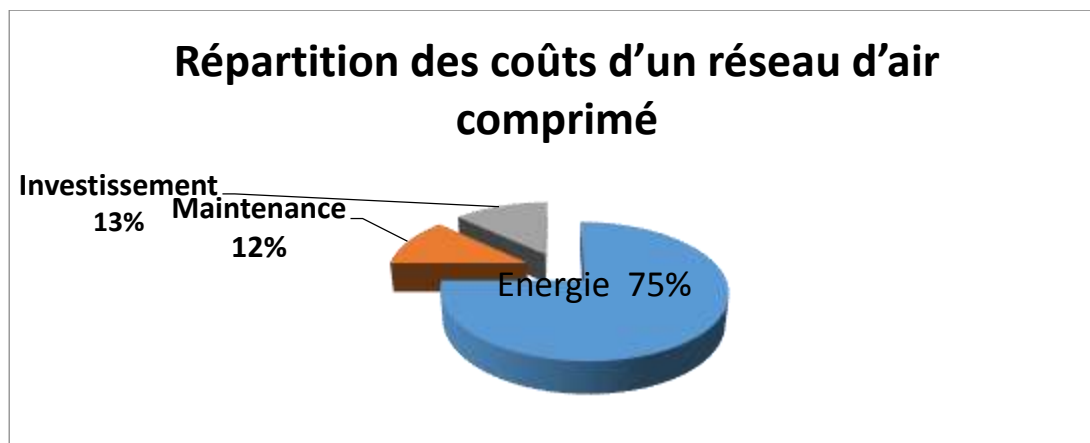


Figure 35 Répartition des coûts d'un réseau d'air comprimé

Pour toutes ces raisons, la question de l'efficacité énergétique dans les systèmes à air comprimé s'avère primordiale.

3.3 État et Caractéristique de l'installation d'air comprimé

Le tableau suivant regroupe des valeurs approximatives relatives aux compresseurs :

	Compresseur 1	Compresseur 2	Compresseur 3
Fabricant	ATLAS COPCO		
Type du produit	GA 45		
Puissance du moteur	45 kW	45 kW	45 kW
Pression nominale		7 bars	
Sécheur	Externe FD 380		
Pression de charge	5.8 bar		6.6 bar
Pression de décharge	6.2 bar		7.1 bar
Débit nominal			
Pression max	7.3 bar		7.5 bar

Figure 36 Les caractéristiques des compresseurs

3.4 Calcul des rendements des compresseurs :

Environ 90% de la puissance utile d'un compresseur est utilisée pour effectuer le travail de compression suivant les lois de la thermodynamique, le reste sert à vaincre les divers frottements mécaniques et les pertes de charge dans les clapets, le réfrigérant et les diverses tuyauteries. Avant d'évaluer le rendement énergétique de l'installation de l'air comprimé, il est nécessaire de définir tous les puissances et rendements indispensables pour le calcul.

3.5 Analyse de l'indicateur de performance énergétique de l'installation d'air comprimé

A. Introduction :

L'objectif de cette partie est d'évaluer l'indicateur de performance énergétique du système d'air comprimé, à savoir le SEC (Specific energy consumption, Ratio énergétique spécifique) ou tout simplement Cs (consommation spécifique) : Quantité d'énergie consommée par un compresseur pour débiter un Nm^3



$$Cs = \frac{\text{Energie consommée par les 3 compresseurs}}{\text{Quantité d'air comprimé}} = \frac{Ee}{Qt \text{ produit}}$$

Équation 1 Consommation spécifique

Avec :

Ee : Énergie électrique consommée en kWh

QT produit : Débit volumique produit relatif à cette consommation en m³.

B. Évaluation de la consommation spécifique des compresseurs

a. La production annuelle en air comprimé

À cause d'un manque d'historique de la production d'air comprimé on va aborder un calcul théorique pour estimer le volume annuel produit

La production d'air comprimé annuelle d'un compresseur est calculée par :

$$\text{Production} = Q_{re} \times T_{ch} \times H$$

Équation 2 Production annuelle des compresseurs en air comprimé

Avec : **H** : les heures de marche annuelle

Tch: le taux de charge compresseur.

Qre : Débit réel refoulé (en m³/s)

Compresseur	Heures de charge	Heures de marche	Taux de charge
GA 45 -1-	36653	58571	62.57
GA 45 -2-			
GA 45 -3-	12690	23925	53.04

Tableau 20 Évaluation du taux de charge des compresseurs

Compresseur	Débit m ³ /h	Heures de marche h/an	Tch	Production annuelle m ³
1	372	6205	62.57	1444278
2				
3	372	7925.7	53.04	1563810
			Total	3008088

Tableau 21 la production annuelle des compresseurs

b. La consommation électrique annuelle :

La consommation électrique annuelle, relative à un compresseur donné, se calcule normalement en sommant les énergies électriques consommées en charge et à vide telles que suit:

$$E = P_{ch} \times T_{ch} \times H + P_v \times (1 - T_{ch}) \times H$$

Équation 3 consommation électrique annuelle

Avec :

- **Pc**: la puissance électrique absorbée en charge.
- **Pv**: la puissance électrique absorbée à vide.
- **Tch**: le taux de charge compresseur.
- **Tu** : le taux d'utilisation

- **H:** le temps global de marche annuel du compresseur.

Dans notre cas, ELECTRA dispose d'un logiciel récemment installé pouvant suivre la consommation énergétique journalière de plusieurs installations électriques au sein de l'usine. À partir des données de ce logiciel, nous avons pu calculer la consommation totale de chaque compresseur durant la période allant du 27/04/2016 au 04/05/2016 et puis étendre le résultat sur une période de un an sachant que les compresseurs fonctionnent en moyenne 48 semaines par an tel que présenté dans ce tableau :

La consommation moyenne hebdomadaire kWh	8890
Consommation totale kWh/an	426720
Coût annuel d'exploitation (DH)	366979

Tableau 22 la consommation électrique totale de la salle des compresseurs

Le coût énergétique de l'air comprimé est exprimé en consommation spécifique (Cs) en Wh/Nm³. En se basant sur la production et la consommation annuelle des compresseurs, dans notre la consommation spécifique relative à la salle des compresseurs vaut :

$$Cs = 142 \text{ Wh/m}^3$$

En conclusion, le tableau suivant présente les différents indicateurs de performance énergétique de la station des compresseurs:

Production annuelle des trois compresseurs	3008089 m³
Consommation énergétique annuelle	426720 kWh
Prix de kWh	0.86 DH/kWh
Coût d'énergie consommée annuellement	366979 DH
Consommation spécifique de la station des compresseurs	142 Wh/m³
Coût d'un m³ d'air comprimé	0.122 DH/m³

Tableau 23 Coût de production d'un m³ de l'air comprimé

L'amélioration de l'efficacité énergétique de l'installation d'air comprimé ainsi l'optimisation de sa consommation révèle comme un point très important du moment où l'air comprimé est un secteur énergivore. Certes, l'air ambiant est gratuit, mais le travail dû à sa compression rend la production de l'air comprimé la plus coûteuse parmi les autres formes d'énergies existantes (1 kWh d'air comprimé équivaut à près de 7 à 10 kWh électriques), ce qui exige une gestion efficace de cette source et une rationalisation de son usage.

Dans ce qui suit, nous allons étudier les différents scénarios et propositions possibles pour améliorer l'efficacité énergétique du système d'air comprimé

3.6 Propositions d'amélioration pour l'économie d'énergie

A. L'état du système de production d'air comprimé :

Lors de l'analyse du système de production et de distribution de l'air comprimé, on a pu remonter avec les notes et remarques suivantes :

- La salle des compresseurs est relativement chaude, cela diminue le rendement de la compression.
- Forts sifflements dans le réseau de distribution, ce qui dénote d'une existence remarquable des fuites d'air comprimé.
- Le local est poussiéreux, ce qui diminue la durée de vie des filtres et augmente les pertes de charge à l'aspiration des compresseurs.

Les différentes voies d'économies possibles d'après le constructeur sur une installation d'air comprimé sont :

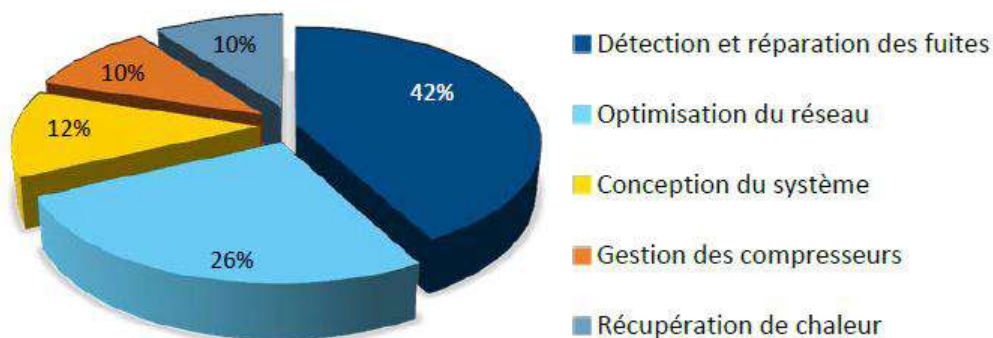


Figure 37 Économies potentiellement réalisables sur les systèmes d'air comprimé

B. Réparation des fuites :

Les fuites sont présentes dans tout réseau ; elles se produisent dès que le réseau est sous pression, et leur importance n'est nullement liée aux besoins.

Un programme de maintenance adapté, incluant la détection et la réparation continue, permet dans la plupart des cas de contenir le taux de fuite à une valeur maximale de 10 %, voire de 5 % dans des réseaux limités.

a. Évaluation du taux de fuite

L'importance du débit d'air de fuite à travers un orifice est en fonction du niveau de pression et du diamètre du trou.

Le graphique ci-joint illustre cette évolution pour quelques valeurs de pression et de diamètre

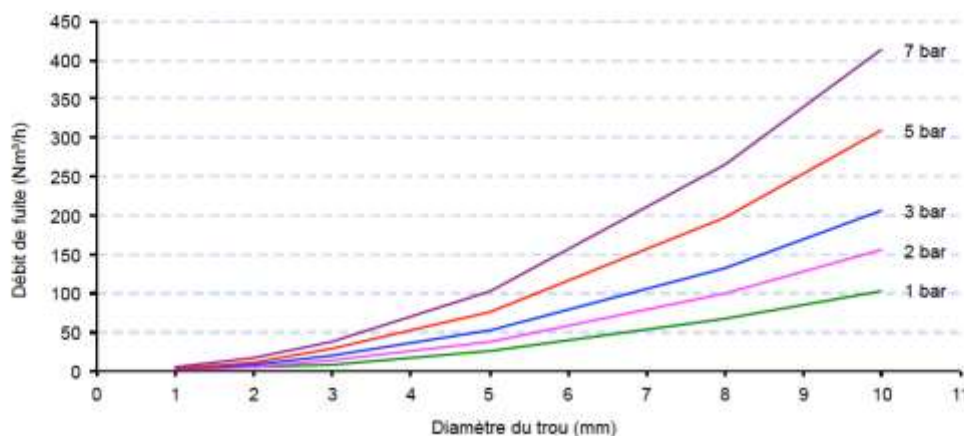


Figure 38 Évolution du débit de fuite en fonction de la pression et du diamètre du trou

Dans notre cas, le taux de fuite peut être évalué par la méthode suivante dite par compensation :

1. Effectuer les mesures pendant une période au cours de laquelle il n'existe aucune demande « normale » du processus (par exemple un week-end).
2. Si plusieurs compresseurs sont raccordés au réseau, couper tous les compresseurs à l'exception d'un compresseur disposant d'un compteur horaire intégré de charge, associé très souvent à un compteur horaire de marche.

Pour l'évaluation du taux de fuite de l'installation d'air comprimé, nous avons adopté la méthode suivante pour le calcul :

L'idée de cette méthode est d'arrêter d'abord tous les consommateurs d'air comprimé puis mesurer les temps de fonctionnement du compresseur dans un intervalle de temps comme défini sur la figure ci-dessus.

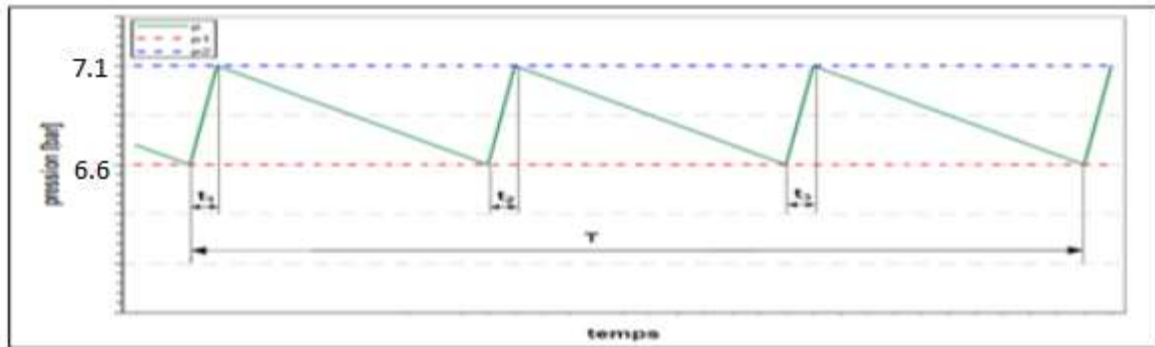


Figure 39 Détection des fuites par la mesure des durées de fonctionnement en charge/à vide du compresseur

- Démarrer un compresseur
- Attendre jusqu'à ce que le réservoir et l'ensemble de la tuyauterie soient remplis en air comprimé.
- Le compresseur va passer au fonctionnement charge/décharge grâce au mode de régulation de la pression entre deux valeurs 6.6 et 7.1 bars.
- Noter le temps de marche à vide T_v qui s'écoule pour la chute de pression sous l'effet des fuites de 7.1 bars à 6.6 bars.
- Quand la pression devient 6.6 bars, le compresseur se met à fonctionner en charge ; noter le temps de marche en charge T_{ch} pour ramener la pression du nouveau à 7.1 bars
- Répéter le relevé des temps de charge/décharge pour plusieurs cycles de fonctionnement.

Le débit de fuites se calcule sur la base de cette mesure, selon la formule suivante:

$$Q_f = Q_c \times \frac{\sum T_{ch}}{\sum (T_{ch} + T_v)}$$

Équation 4 Débit de fuite

- Q_f : Débit de fuite (m^3/min) ;
- Q_c : Débit d'air refoulé par le compresseur (m^3/min) ;
- $\sum T_{ch} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$: Somme des temps de fonctionnement en charge du compresseur pendant la durée de mesure
- $T = \sum (T_{ch} + T_v)$: Durée totale de mesure (s).

Résultats des essais :

Nous avons refait la mesure pour 5 cycles de marche en charge/vide et nous avons relevé les mesures suivantes :

Cycle	1	2	3	4	5
T vide (s)	15.6	15.4	15	14.4	15.1
Tcharge(s)	12.2	12.9	13	13.4	13.3

Tableau 24 Essais de mesure des fuites d'air comprimé avant colmatage

Les résultats de calcul des fuites d'air sont récapitulés dans le tableau suivant :

ΣT_{ch}	T	Taux de fuite
64.8	140.3	46.18 %

Tableau 25 Mesure du taux de fuites avant colmatage

Les résultats après le colmatage des fuites sont mentionnés dans le tableau suivant :

Cycle	1	2	3	4	5
T vide (s)	31.3	36.3	35.2	34.9	36.7
Tcharge(s)	10.7	8	9.3	8.3	8.7

Tableau 27 Essais de mesure des fuites d'air comprimé après colmatage

ΣT_{ch}	T	Taux de fuite
45	219.4	20.51

Tableau 26 Mesure du taux de fuites après colmatage

Taux de fuites avant amélioration (%)	46.18
Quantité annuelle dissipée par les fuites (m3)	1 383 721
La consommation annuelle dissipée par les fuites (kWh/an)	196212
Émissions de CO2 annuellement en (kg)	150298
Taux de fuites après amélioration (%)	20.51
Quantité dissipée après colmatage des fuites m3	616959
Économie annuelle en m3	766762
Économie annuelle en (kWh/an)	108727
Quantité de CO2 évitée en (kg/an)	83285
Économie annuelle en (DHs/an)	93505
Investissement (DHs)	2000
Temps de retour (mois)	1mois

Tableau 27 Récapitulatif des gains récupérés du colmatage des fuites

b. Propositions d'action :

- Mettre en place un programme de maintenance adapté, axé sur la détection et la réparation des fuites.
- Isoler du réseau, via une vanne d'arrêt, tout utilisateur non en service ;
- Éliminer toute partie du réseau devenue obsolète ;
- Diminuer si possible la pression du réseau ;
- Arrêter les compresseurs en dehors des périodes de production, si aucune installation ne doit impérativement être maintenue sous pression. Dans ce dernier cas, l'installation d'un compresseur dédié de plus faible puissance peut se justifier en regard des économies engendrées par l'arrêt des compresseurs principaux : c'est le cas pour les chambres Hydrosetting
- Procédure d'arrêt et d'enclenchement correct des compresseurs
- Acquisition d'un détecteur de fuites par ultra-sons

Taux de fuites ciblé en utilisant un détecteur ultra-sons	10%
Taux de fuites avant amélioration (%)	20.51%
Quantité dissipée avant colmatage des fuites m3	616959
Quantité dissipée après colmatage des fuites m3	300809
Économie annuelle en m3	316150
Économie annuelle en (kWh/an*)	44830
Quantité de CO2 évitée en (kg/an)	34340
Économie annuelle en (Dh/an)	38105
Investissement (Dh)	20000
Temps de retour (mois)	7 mois

Tableau 28 Gains récupérés de l'acquisition du détecteur ultrasons

3.7 Diminution de la consommation grâce au variateur de vitesse

On peut réaliser une nette amélioration de la rentabilité en installant un variateur de vitesse sur un compresseur dans une installation pneumatique. La vitesse des compresseurs est régulée en fonction de la pression de décharge. L'intégration d'un compresseur à variation de vitesse dans un système de contrôle global permet de réduire d'autant plus les consommations spécifiques des compresseurs d'air en améliorant la stabilité du système de pression et en évitant le fonctionnement à vide des compresseurs.

a. Mise en situation :

La consommation énergétique annuelle du compresseur GA45-3- est calculée comme suit :

$$E = Pch \times Tch \times H + Pv \times (1 - Tch) \times H$$

Soit **253804.43 kWh/an** pour produire un volume annuel d'air comprimé estimé à **1563810.35 m3/an**, pour produire cette quantité le compresseur n'a besoin que de fonctionner pendant **4203.79 heures/an** en charge. Pendant le reste des heures (**3721.90 heures/an**), le compresseur marche à vide, ne produit rien et consomme de l'énergie. Cette énergie peut être économisée par la variation de vitesse du moteur d'entraînement du compresseur. La régulation de sa vitesse de rotation permet d'adapter sa consommation énergétique à la demande d'air comprimé du réseau, de telle façon qu'il ne consomme de l'énergie électrique que pour produire de l'air.

Pour étudier la faisabilité d'installer un compresseur à vitesse variable il convient de faire une évaluation économique et une comparaison entre la situation actuelle (compresseurs à vitesse fixe) et la situation future avec l'installation des compresseurs à vitesse variable.

Comme indiqué précédemment, la consommation d'énergie électrique à vide par les compresseurs ,équipés d'un mode de régulation en charge/vide classique à vitesse fixe, est le point néfaste de l'installation d'air comprimé chez ELECTRA , la raison pour laquelle notre objectif, à travers cette partie, est d'étudier les possibilités de réduction de cette consommation en analysant les profils de demande d'air comprimé et leurs consommations relatives.

b. Comparaison entre un compresseur à vitesse fixe et à vitesse variable :

Comme illustré sur la figure ci-dessous, les pics de consommation relative au compresseur à vitesse variable sont moins élevés et le profil de la courbe est plus uniforme.

- 35% d'énergie économisée en moyenne lorsque la demande en air fluctue ; grande plage de débit et de pression
- Le régulateur intégré contrôle la vitesse du moteur et le variateur de vitesse.
- Pas de marche à vide ou de gaspillage énergétique en fonctionnement normal.
- Le compresseur démarre en dessous de la pression de consigne et s'arrête directement sans passer à vide.
- Pas de pics d'intensité pénalisants au démarrage
- Moins de fuites d'air grâce à une pression de réseau plus basse

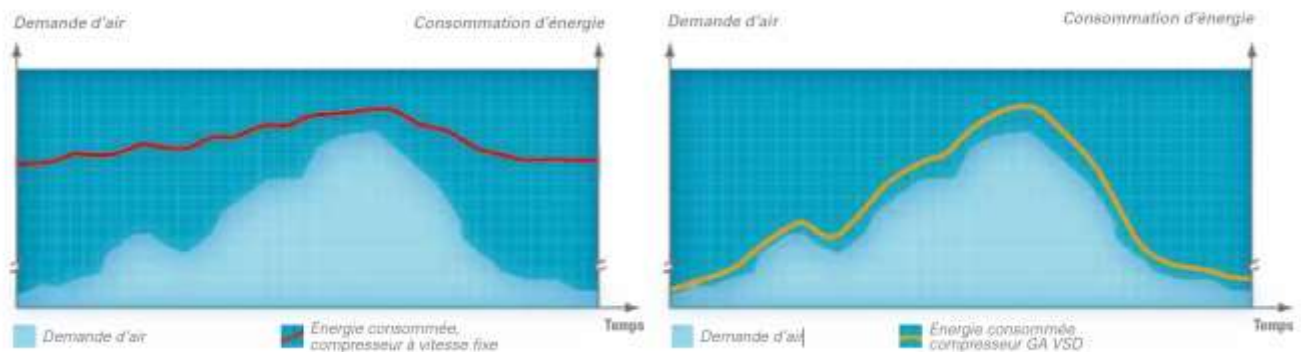


Figure 40 profile de la consommation d'énergie en fonction de la demande d'air comprimé

La raison pour laquelle la courbe est si différente avec un compresseur à variations de vitesse est qu'il s'ajuste de lui-même à la demande d'air et produit précisément la quantité requise à un moment précis. Le compresseur à vitesse variable comporte un capteur de pression qui indique la pression exacte au contrôleur. Ce dernier transmet ensuite les données de la demande d'air à l'onduleur. L'onduleur ajuste alors la vitesse du moteur selon les paramètres de pression. Un compresseur à variation de vitesse permet environ 25% à 35% d'économie en coûts énergétiques par rapport aux installations classiques équipées de modes de régulation simples qui entraînent des surplus évitables en consommation électrique.

c. Économie d'énergie par la régulation de vitesse :

Le compresseur à vitesse variable toutefois, fonctionne à une vitesse optimale pour répondre aux besoins d'air en temps réel et fournit beaucoup d'économies d'énergie ainsi cibler une production de la pression de sortie d'air plus stable constante.

La figure ci-dessous illustre l'aspect de régulation de la vitesse par le compresseur à vitesse variable. Il fonctionne autour d'une pression consigne et la régulation fait varier la vitesse de rotation de la machine afin de produire le débit sollicité.

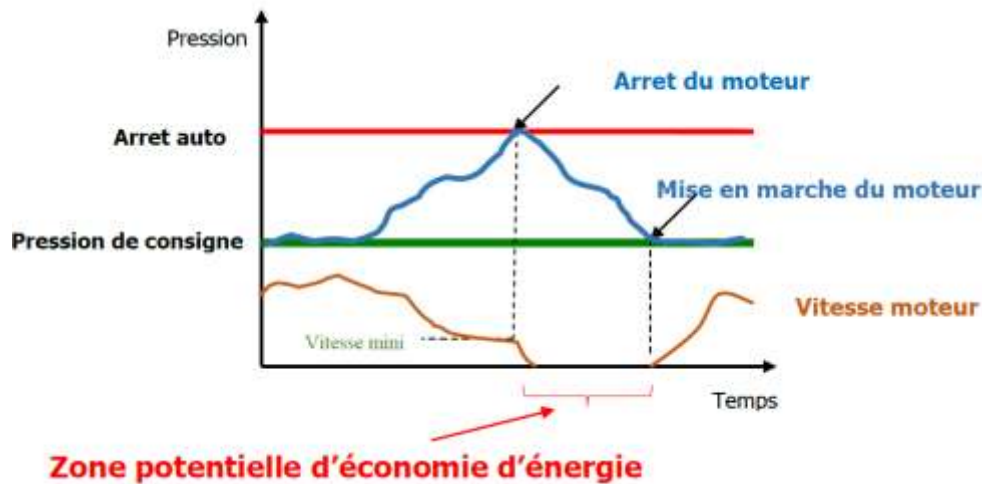


Figure 41 Profils de vitesse et de pression d'un compresseur à vitesse variable

Lorsque la pression du réseau dépasse la pression de consigne par diminution de la demande d'air comprimé, le variateur de fréquence fait diminuer la vitesse du moteur du compresseur d'une façon progressive avant de passer à l'arrêt automatiquement dans le cas où la pression demeure supérieure à celle de la consigne. L'arrêt de moteur représente la zone la plus potentielle dans l'économie d'énergie consommée par le compresseur, ceci représente l'avantage majeur d'un compresseur à vitesse variable.

Le projet d'installation d'un VSD concerne le compresseur GA45-3-, car d'une part c'est celui qui a un faible taux de charge et d'autre part à cause de son mauvais rendement

Le compresseur GA45 N° consomme en moyenne à vide

$$E_{vide} = H * (1 - Tch) * Pv$$

Figure 42 Énergie électrique consommée par le compresseur à vide

Avec : H : les heures de marche annuelle

Tch : Taux de charge

Pv : la puissance à vide (40% de la puissance en charge)

Soit **66361.63 kWh/an.** Si ce compresseur serait équipé d'un variateur de vitesse, sa consommation annuelle va diminuer, car l'énergie consommée à vide sera nulle (économie de 26.14 %).

La figure ci-dessous illustre cette possibilité d'économie d'énergie par une comparaison entre les deux modes de fonctionnement : avec régulation et sans régulation de vitesse.

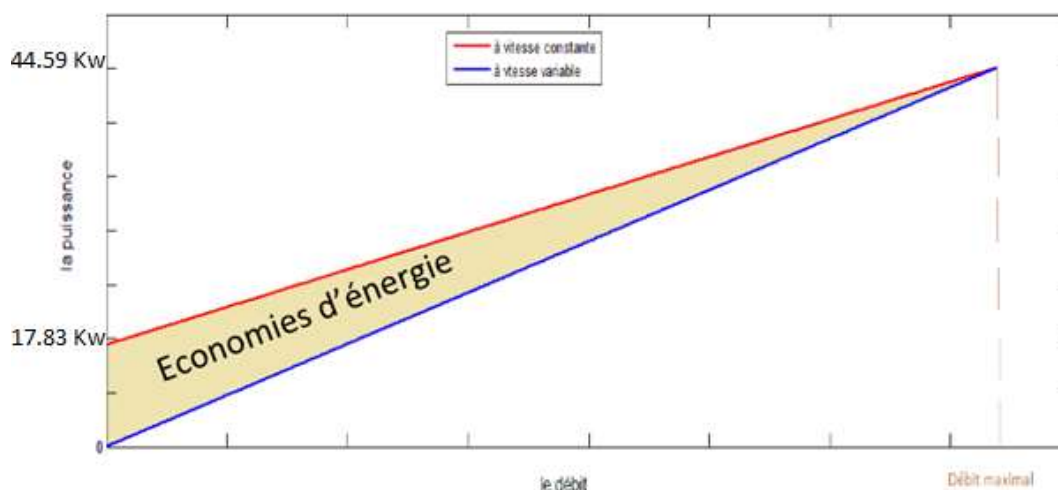


Figure 43 Puissance appelée par le compresseur en fonction du débit

Pendant la demande maximale, le compresseur appelle une puissance de 44.59 kW. La même puissance serait appelée sous la commande d'un variateur de vitesse pour répondre au besoin de l'installation. Tandis que, pendant la phase de décharge ou le fonctionnement à vide, le compresseur classique ne cesse pas d'appeler une puissance électrique de 17.83 kW alors qu'avec la régulation de vitesse, le compresseur n'appellerait pas de puissance électrique.

Par conséquent, l'investissement dans l'acquisition d'un nouveau compresseur équipé d'une régulation de vitesse est devenu une nécessité primordiale du moment où la société va escompter des bénéfices allant jusqu'à 30% de la consommation actuelle de l'installation d'air comprimé.

La consommation annuelle de la salle des compresseurs kWh/an	426720	
La consommation du compresseur GA45-3- kWh/an	en charge	187447
	à vide	66361
	Total	253804
Économies prévues réalisées annuellement après installation du VSD kWh/an	66361	
Émissions annuelles de CO2 évitées en kg	50833	
Économies prévues réalisées annuellement après installation du VSD DHs/an	57071	
L'investissement	65000	
Temps de retour	14 mois	

Tableau 29 Gain potentiel escompté de l'installation d'un variateur de vitesse



4. Les chambres de Murissage :

Afin d'assurer la cohésion de la pâte. La phase du murissage s'avère primordiale.

Cette opération dure entre vingt-quatre et trente heures dans quatre chambres 7j/7 le long de l'année, ce qui rend de cette unité l'une des unités les plus énergivores.

Alors pour minimiser l'impact énergétique de cette opération, on a pensé à deux plans d'action qui seront bien détaillés ensuite :

- Dimensionner un petit système d'air comprimé destiné aux chambres de murissage pour pouvoir arrêter le système principal de production d'air comprimé les weekends.
- Rénover les anciennes chambres de mûrissages qui fonctionnent en gaz pour pouvoir minimiser la consommation énergétique et faire face aux arrêts fréquents des nouvelles chambres

4.1 Dimensionnement d'un système d'air comprimé destiné aux chambres de murissage

Les paragraphes suivants contiennent des calculs de dimensionnement d'une installation d'air comprimé typique en utilisant le guide de « Atlas Copco ».

A. Données d'entrée :

Les exigences en matière de consommation d'air comprimé et les conditions ambiantes locales doivent être établies avant de commencer le dimensionnement.

B. Consommation d'air :

Confronté par le manque de donnée de la consommation du débit d'air par chaque équipement, on a choisi de faire des estimations selon le type d'équipement.

L'installation contient quatre chambres similaires qui utilisent des vérins pneumatiques.

La formule suivante est appliquée pour déterminer la consommation d'air des équipements :

Avec

$$Q = H \times (S + T) \times N$$

Équation 5 Consommation des équipements en air comprimé

Q : Consommation d'air en NI/min

H : Course du vérin en cm

S : Consommation d'air en poussée par cm de course (du tableau en dessous)

T : Consommation d'air en traction par cm de course (du tableau en dessous)

N : Nombre de cycles par minute

Alésage [mm]	Ø tige [mm]	Mouvement	Surface utile cm ²	Consommation d'air en poussée et traction en NI/cm de course en fonction de la pression de travail P en BAR à 20°C									
				1 BAR	2 BAR	3 BAR	4 BAR	5 BAR	6 BAR	7 BAR	8 BAR	9 BAR	10 BAR
12	4	poussée traction	1,13 1	0,0023 0,002	0,0034 0,003	0,0045 0,004	0,0057 0,005	0,0068 0,006	0,0079 0,007	0,009 0,008	0,0102 0,009	0,0113 0,01	0,0124 0,011
16	6	poussée traction	2,01 1,73	0,004 0,0035	0,006 0,0052	0,008 0,0069	0,01 0,0088	0,0121 0,0104	0,0141 0,0121	0,0161 0,0138	0,0181 0,0156	0,0202 0,0173	0,0221 0,019
20	8	poussée traction	3,14 2,64	0,0063 0,0053	0,0094 0,0079	0,0126 0,0106	0,0157 0,0132	0,0188 0,0158	0,022 0,0185	0,0251 0,0211	0,0283 0,0238	0,0314 0,0264	0,0346 0,029
25	12	poussée traction	4,91 3,78	0,0098 0,0076	0,0147 0,0113	0,0196 0,0151	0,0245 0,0189	0,0295 0,0227	0,0344 0,0264	0,0393 0,0302	0,0442 0,034	0,0491 0,0378	0,054 0,0415
32	12	poussée traction	8,04 6,91	0,016 0,014	0,024 0,021	0,032 0,028	0,04 0,035	0,048 0,042	0,056 0,049	0,064 0,058	0,072 0,063	0,08 0,07	0,088 0,076
40	16	poussée traction	12,56 10,55	0,025 0,021	0,038 0,032	0,05 0,042	0,063 0,053	0,076 0,063	0,088 0,074	0,1 0,088	0,113 0,095	0,126 0,106	0,138 0,116
50	20	poussée traction	19,63 16,49	0,039 0,033	0,059 0,05	0,079 0,066	0,098 0,082	0,118 0,099	0,137 0,115	0,157 0,132	0,177 0,149	0,196 0,165	0,216 0,181
63	20	poussée traction	31,16 28,02	0,062 0,056	0,083 0,084	0,125 0,112	0,156 0,14	0,187 0,168	0,218 0,196	0,249 0,224	0,28 0,252	0,312 0,28	0,343 0,308
80	25	poussée traction	50,24 45,36	0,1 0,091	0,15 0,138	0,2 0,181	0,25 0,227	0,301 0,272	0,351 0,318	0,402 0,363	0,452 0,408	0,502 0,454	0,552 0,5
100	32	poussée traction	78,54 70,5	0,157 0,141	0,238 0,211	0,314 0,282	0,382 0,352	0,471 0,423	0,549 0,493	0,628 0,564	0,706 0,635	0,785 0,705	0,862 0,775
125	32	poussée traction	122,66 114,67	0,245 0,229	0,368 0,344	0,49 0,459	0,613 0,573	0,736 0,688	0,859 0,803	0,981 0,917	1,104 1,032	1,226 1,147	1,349 1,262
160	40	poussée traction	201,06 188,49	0,402 0,377	0,603 0,565	0,804 0,754	1,005 0,942	1,206 1,13	1,407 1,319	1,608 1,508	1,809 1,696	2,01 1,884	2,211 2,073
200	40	poussée traction	314,15 301,59	0,628 0,603	0,942 0,905	1,257 1,206	1,571 1,506	1,885 1,81	2,199 2,111	2,513 2,413	2,827 2,714	3,145 3,016	3,456 3,318

Tableau 30 Consommation d'air en poussée et en traction par cm de course

Nombre	Fonction	Diamètre de la tige	Course parcourue	Pression	Nombre de cycles	Débit
2	Vérin des portes	20 mm	300 mm	6 bars	1 cycle par heures	2NI/min
2	Vérin pour contrôler les volets des ventilateurs d'extraction	12 mm	70 mm	6 bars	6 cycles par heures	19.92NI /min
1	Vérin de verrouillage	12 mm	70 mm	6 bars	1 cycle par heures	2 NI/min
Total						24 NI/min

Tableau 31 Caractéristiques des équipements qui consomment de l'air comprimé

Consommateur	Débit d'air	Pression
4 x Chambres de murissages	4 x 24 NI/min = 96NI/min =1.6 l/s	6 bars

C. Conditions ambiantes pour le dimensionnement

Température ambiante normale: 30 °C

Température ambiante maximale: 40 °C

Pression ambiante: 1 bar

**D. Sélection des composants :***a. Dimensionnement du compresseur*

La consommation d'air totale est la somme des débits nécessaires pour les quatre consommateurs (1.6l/s) compte tenu des changements possibles dans les données de consommation d'air prévu et expansions ultérieures des besoins en air comprimé, une marge de sécurité d'env. 20 à 30% doit être ajouté. Cela donne un débit dimensionné de $1.6 \times 1.25 \approx 2 \text{ l/s}$ (y compris la marge de sécurité de 25%).

En supposant que la chute de pression combinée dans le sécheur, le filtre et la tuyauterie ne dépasse pas 1,5 bar, un compresseur avec une capacité maximale de pression de travail de $6 + 1,5 = 7,5 \text{ bars}$ est adapté à ce cas.

b. Sélection du compresseur final

Un compresseur avec les spécifications suivantes est sélectionné:

Compresseur	Atlas Copco GX 2 EP
Type	Compresseur rotatif à vis à injection d'huile avec sécheur intégré
Pression maximale de sortie du compresseur	7.5 Bars
Débit d'air à 7 bars	4 l/s
Puissance du moteur	2.2 kW

Tableau 32 Choix du compresseur

c. Dimensionnement du volume de réservoir d'air

Débit Q_c (compresseur) = 4 l/s

P_1 = Pression d'entrée du compresseur = 1 bar

T_1 = Température maximale d'entrée = $40^\circ\text{C} = 273 + 40 = 313 \text{ K}$

f_{\max} = fréquence de cycle maximum = 1 cycle / 10 minutes

$(P_U - P_L)$ = Différence de pression entre le compresseur chargé et déchargé = $7.5 - 6 \text{ bars} = 1.5 \text{ bars}$

T_0 = Température de l'air comprimé du compresseur sélectionné est de 10°C supérieure à la température ambiante, donc la température maximale dans le réservoir d'air sera = $273 + 50 = 323 \text{ K}$

Le catalogue donne pour le compresseur choisi la formule suivante pour le volume du réservoir de l'air:

$$V = \frac{0.25 \times q_c \times T_0}{f_{\max} \times (P_U - P_L) \times T_1}$$

Équation 6 Volume du réservoir adéquat

$$\frac{0.25 \times 4 \times 323}{\frac{1}{600} \times 1.5 \times 313} = 413 \text{ l}$$

Ceci est le volume minimum du récepteur d'air recommandé.

La taille suivante est généralement sélectionnée.



d. Rentabilité de la solution :

Dans la situation actuelle où les compresseurs marchaient les weekends justement pour alimenter les chambres de murissages en air comprimé, on a pu isoler la puissance consommée en weekends par plusieurs relevés

Relevé	1	2	3	4	5
Puissance en kW	41,42	41.45	42.16	41.15	41.6
Moyenne	41.55 kW				

Tableau 33 Puissance des compresseurs actuels

Avec le fait que l'ensemble du personnel ne travaille qu'un samedi sur deux

Alors la consommation annuelle sera :

	Du	jusqu'à	nombre d'heures par semaine	Nombre d'heures annuel
Weekend 1	22h vendredi	06h lundi	56h	1456 h
Weekend 2	22h Samedi	06h Lundi	32h	832 h
	Total			2288 h

Tableau 34 Nombre d'heures annuel où les compresseurs fonctionnent justement pour les chambres de murissage

Donc la consommation annuelle de la salle des compresseurs lorsque les chambres de murissage sont les seuls consommateurs d'air comprimé est :

$$41.55 * 2288 = 95066 \text{ kWh}$$

Ce qui se traduit en :

$$95066 \text{ kWh/an} \times 0.85 \text{ DHs/kWh} = 80806 \text{ DH/an}$$

$$95066 \text{ kWh/an} \times 0.766 \text{ kg/kWh} = 72820.5 \text{ kg de CO}_2 \text{ évités}$$

Gain annuel en DH	80806
Investissement en DHs	~ 60000
Temps de retour	9 mois

Tableau 35 Rentabilité de la solution

4.2 Rénovation des anciennes chambres de Murissages

Suite aux problèmes fréquents des chambres de murissage actuelles, on a pensé à rénover les anciennes chambres de gaz

Gaz vs. Fours électriques industriels

Les deux types des fours à savoir ceux du gaz et électriques ont leurs propres avantages et inconvénients, et pour la plupart, c'est une décision personnelle et qui dépend de certaines contraintes comme l'existence des conduites de gaz dans l'entreprise et leurs proximités de l'emplacement des fours. Les fours à gaz sont généralement un peu plus difficiles à soigner et à nettoyer, mais offrent plus de confort et de contrôle de la chaleur et ils sont moins chers à opérer.

Les fours électriques eux offrent une température uniforme dans l'ensemble du volume du four, car ils ne reposent pas sur une flamme réelle, qui est préférable pour certaines opérations.

A. Calcul de la puissance nécessaire :

Par manque d'historique des consommations des anciennes chambres de murissage, on a eu recours à une étude théorique de leurs consommations.

Alors pour calculer la puissance nécessaire pour assurer un traitement thermique correct on a mesuré les dimensions des chambres

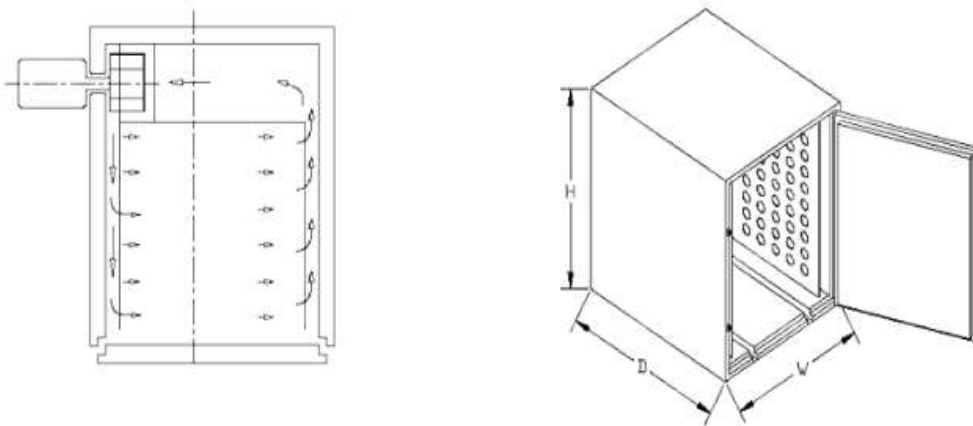


Figure 44 Schématisation des chambres de gaz

Avec $H=3.2\text{m}$, $D=2.3\text{m}$ et $W=4.2\text{ m}$

$$V=3.2*4.2*2.3$$

$$V=30.91\text{ m}^3$$

Avec le programme suivant à suivre :

- ❖ Programme pour le chargement des plaques dans les chambres



	REMP	MANTIEN	T°	RH %	EX %	VENT %
ST0	0	12	45	92	0	80
ST1	1h	18h	50	90	0	80
ST2	0.5h	0.5h	45	90	0	100

Tableau 36 Programme de chargement des plaques

❖ Programme de traitement des plaques :

	REMP	MAINTIEN	T°	RH %	EX %	VENT %
ST0	1h	7h	45	90	20	100
ST1	1h	6h	55	85	30	100
ST2	0.5h	0.5h	70	0	0	100
ST3	1h	12h	75	0	100	100
ST4	1h	0h	30	0	100	100

Tableau 37 Programme de traitement des plaques

En se basant sur les valeurs de la température en dessus et en considérant que la température ambiante est de 30°C

- On commence par calculer la chaleur nécessaire pour porter les fours de la température ambiante à 45°C

On a

$$Q = m \times c_m \times (t_f - t_i)$$

Équation 7 Chaleur nécessaire pour atteindre Tf

Et

$$m = \rho \times V$$

Équation 8 La masse en fonction du volume et de la masse volumique

avec

M: la masse de l'air

Ti : Température initiale

Cm : Capacité thermique massique

ρ : masse volumique de l'air

Tf : Température finale

V : Volume du four

Puisque le milieu est humide, alors la valeur de ρ sera déterminée par la formule suivante :

$$\rho(\varphi, \vartheta, p) = \frac{1}{287,06(\vartheta + 273,15)} \left(p - 230,617 \cdot \varphi \cdot \exp \left[\frac{17,5043 \cdot \vartheta}{241,2 + \vartheta} \right] \right)$$

Équation 9 la masse volumique de l'air humide

Avec

- φ humidité relative,
- ϑ température en °C,
- P pression en Pa

Et

$$\varphi [\%] = \frac{P_{\text{vap}}}{P_{\text{sat}}(T)} \times 100$$

Équation 10 L'humidité relative



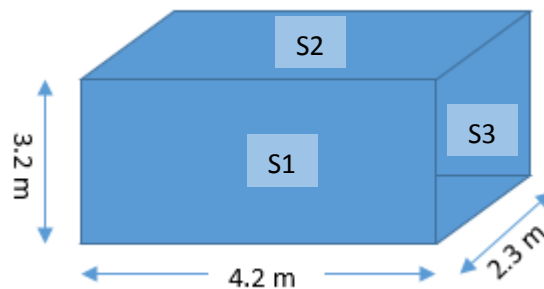
Tout calcul fait (le calcul complet en annexe) :

$$\rho = 1.11 \text{ kg/m}^3$$

La quantité de la chaleur nécessaire pour porter le volume du four de la température ambiante à 45°C sera :

$$Q = 2250 \text{ J}$$

- Maintenant, on calcule la puissance nécessaire pour le maintien de cette température :



Avec

$$S1 = 13.44 \text{ m}^2$$

$$S2 = 9.66 \text{ m}^2$$

$$S3 = 7.36 \text{ m}^2$$

Et un coefficient de transfert thermique des parois $U = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (exagéré)

Transmission vers l'extérieure :

$$Q_{te} = 2 * (S1 + S2 + S3) * U * (T_f - T_e)$$

Équation 11 Puissance des pertes par les parois

$$Q_{te} = 10.6 \text{ kW}$$

On fait le calcul pour l'ensemble des températures des différentes phases des programmes de chargement et de séchage, sur l'ensemble de la durée de fonctionnement avec 20% des pertes (les parois, mauvaise combustion...) en plus de deux moteurs de 5.5kW et un de 4kW

On trouve que l'énergie annuelle nécessaire pour le fonctionnement d'un four est :

$$27.72 \text{ kW} * 8760 \text{ h} = 242827 \text{ kWh}$$

Dans le même sens, et puisque les fours actuels sont connectés au même compteur que la ligne « STRIP », on a attendu jusqu'au 06, 07 et 08 mai où il n'y avait pas de travail sur cette ligne pour isoler la consommation des fours



Consommation sur le compteur le 06/05/2016 à 8h	595872 kWh
Consommation sur le compteur le 09/05/2016 à 8h	598476 kWh
La consommation	2604 kWh

Tableau 38 Consommation énergétique des chambres actuelles

Numéro de la chambre	Période de fonctionnement	Durée de fonctionnement
2	Du vendredi 06/05/2015 à 22h jusqu'à Samedi 07/05/2015 à 8h	10h
3	Du vendredi 06/05/2015 à 22h jusqu'à Samedi 07/05/2015 à 8h	10h
4	Du Vendredi 06/05/2015 à 8h jusqu'à Samedi 07/05/2015 à 21h	37h
		57h

Tableau 39 Durée de fonctionnement des chambres actuelles

Alors la puissance de chaque four est :

$$2604/57 = 45.68 \text{ kW}$$

B. Le gain de la transformation :

Avec un temps de fonctionnement qui avoisine les 8760h/an



Chaque four électrique consomme : $45.68 \times 8760 = 365441 \text{ kWh}$
Chaque four de gaz consomme : $27.72 \times 8760 = 242827 \text{ kWh}$
C'est-à-dire une différence de puissance de : 122614 kWh

Pour convertir ce chiffre en DH, on a :

1 kWh en électricité coûte en moyenne 0.85 Dhs

Alors $365440.8 \text{ kWh} \times 0.85 \text{ Dhs/kWh} = 310625 \text{ DHs}$

De même pour le gaz GPL 1 kWh coûte presque 0.98 DHs (avec un pouvoir calorifique de 12 kWh/Kg)

Alors $242827.2 \text{ kWh} \times 0.98 \text{ Dhs/kWh} = 237971 \text{ DHs}$

Alors sur la durée d'une année, si on change de vecteur énergétique et on passe au gaz à la place de l'électricité

On aura un gain potentiel annuel de **72654 DH/four**

$(365440.8 \text{ kWh} - 242827.2 \text{ kWh}) \times 0.766 \text{ kg/kWh}$

= 93922 kg de CO₂ évités par an

Mais il faut prendre en considération le coût de la rénovation des chambres et de leurs systèmes de contrôle pour pouvoir estimer un temps de retour puisque l'état détérioré actuel des fours demande un investissement important qu'on n'a pas pu estimer !



5. L'éclairage

5.1 Introduction

L'éclairage est probablement le moyen d'utiliser l'énergie le plus évident, un bon éclairage en milieu industriel est indispensable. Il permet une productivité maximale et avoir un environnement de travail sûr. L'éclairage est une branche dans laquelle les économies peuvent être réalisées rapidement et avec un coût minimal. Ce chapitre présente les sources du système d'éclairage utilisées au niveau de l'usine et quelques recommandations pour l'économie d'énergie pour ce système.

5.2 Le système d'éclairage de l'usine

Le nombre de points lumineux assurant l'éclairage interne de l'usine est de 349 lampes. 110 lampes est de type vapeur de mercure de type RADUIM, 8 lampes de type incandescence de puissance 100 W et 220 lampes fluorescentes de puissance entre 20 et 36 W ainsi que 6 projecteurs et 5 lampes à sodium à haute pression.

Le tableau suivant donne les caractéristiques de lampes installées à l'usine :

	Nombre de lampes	Puissance (W)	Efficacité lumineuse (lm/watt)	Durée de vie (heures)	Rendu des couleurs
Lampe incandescente	8	100	12 à 20	1000	Excellent
Lampe fluorescente	8	20	50 à 80	10000 à 20000	Mauvais à bon
	212	36			
Lampe Vapeur de mercure	25	250	50 à 70	8000 à 14000	Mauvais à bon
	85	400			
Lampe à Sodium haute pression	5				
Projecteur	6				

Tableau 40 Les caractéristiques des lampes installées à l'usine

A. Les lampes à incandescence

Les lampes à incandescence ne sont pas économiques, car elles émettent de la chaleur au même temps que la lumière, ce qui diminue leurs efficacités (12 à 23 lm/watt) et leurs durées de vie à 750 heures. En revanche, elles sont moins chères à l'achat et facile à l'utilisation.

B. Les lampes à vapeur de mercure

Les lampes à vapeur de mercure sont aujourd'hui démodées pour plusieurs raisons : leurs efficacités lumineuses est faible (63 lm/watt), de même que leurs indices de rendu des couleurs. De plus, la durée de vie n'est pas très élevée et elles sont défavorables à l'environnement.

Nous proposons à ce niveau:

5.3 Remplacement des lampes à vapeur de Mercure et les lampes à incandescence

Pour de meilleures conditions de travail, on opte pour le remplacement des lampes de l'intérieur de l'usine par des lampes à iodure métallique puisqu'elles représentent un bon rendu des couleurs. À l'extérieur la bonne émission des couleurs n'est pas exigée ainsi on utilisera des lampes à sodium à haute pression.

Unité	Ligne	Nombre de quarts de travail	Nombre d'heures de nuit
Finition	FINITION	2	6
	REPLISSAGE ACIDE	2	6
	Mise à niveau	2	6
Assemblage	BLOC ASSEMBLAGE N°3	3	14
	MOULAGE DES CONNEXIONS N°3 (C O S N°3)	3	14
	ENVELOPPEUSE N°3 (TEKMAX 3)	3	14
Plaque	EMPATAGE 2	1	0
	OXYDE 2	3	14
	DEPLOYAGE	1	0
	LAMINAGE	1	0
Recyclage	Affinage	3	14
	Broyeur & Réduction	3	14

Tableau 41 Heures de travail de chaque unité

A. Les lampes à Iodure métallique

Ces lampes à remplacement direct peuvent améliorer l'efficacité lumineuse de 70 %, elles sont actuellement la source la plus efficace de lumière blanche, leur gamme d'efficacité lumineuse est comprise entre 50 et 110 lumens par watt, présentant un meilleur rendu des couleurs qui va de 65 à 90.

Le tableau suivant établit le gain escompté par le remplacement des Lampes à Vapeur de mercure par Les lampes à Iodure métallique:

	vapeur de mercure		iodure métallique	
Nombre de lampes	78	7	78	7
Temps de marche	2190	5110	2190	5110
Puissance (W)	400	400	150	150
Énergie consommée kWh/an	82636		30988	
Gain en énergie (kWh/an)	51647			
Gain annuel en DH	41318			

Tableau 42 Projet économique du remplacement des Lampes à Vapeur de mercure par les Lampes à Iodure métallique

Projet économique :

Gain annuel en DH	41318
Nombre de lampes	85
Prix unitaire en DH	250
Investissement en DH	21250
Temps de retour (mois)	6 mois

Tableau 43 Gain annuel et temps de retour du remplacement des lampes de vapeur de mercure

**B. Les lampes à Sodium haute pression :**

Avec un rendement lumineux meilleur que les lampes à vapeur de mercure. L'utilisation des lampes à vapeur de sodium est recommandée comme solution de substitution des lampes à vapeur de mercure. Variant de 80 à 140 lumens par watt, les lampes SHP ont une efficacité lumineuse plus importante que les lampes HM. Cependant, elles ont un rendu des couleurs plus faible. Le tableau suivant établit le gain escompté par le remplacement des Lampes à Vapeur de mercure par les lampes à Sodium haute pression:

	Lampes à Vapeur de mercure	Lampes à Sodium haute pression
Nombre de lampes	25	25
Temps de marche (heures)	5110	5110
Puissance de lampe (W)	250	100
Énergie consommée kWh/an	31937	12775
Gain en énergie (kWh/an)	19162	
Gain annuel en DH	15330	

Tableau 44 Projet économique du remplacement des Lampes à Vapeur de mercure par les Lampes à Sodium haute pression

Projet économique :

Gain annuel en DH	15330
Nombre de lampes	25
Prix unitaire en DH	140
Investissement en DH	3500
Temps de retour (mois)	3 mois

Tableau 45 Gain annuel et temps de retour du remplacement des lampes de vapeur de mercure

C. Les lampes à incandescence

La lampe à fluorescence présente plusieurs avantages par rapport à la lampe à incandescence classique :

- Un meilleur coefficient de performance : la lampe à incandescence a une efficacité de 14 à 25 lumens par watt, alors que la lampe fluorescente a une efficacité de l'ordre de 50 à 80 lumens par watt (ainsi une lampe fluorescente de 11 W produira le même éclairage qu'une lampe à incandescence de 40 à 60 W)
- une durée de vie de dix à vingt fois plus longue que la lampe à incandescence (soit 10000 à 20000 heures contre 1 000 heures).
- l'échauffement étant réduit, les risques de dégâts dus à la chaleur sont réduits proportionnellement (incendie, déformation des luminaires, etc.)

	lampes à incandescence	lampes à fluorescence
Nombre de lampes	8	8
Temps de marche (heures)	5110	5110
Puissance de lampe (W)	100	18
Énergie consommée kWh/an	4088	735
Gain en énergie (kWh/an)	3352	
Gain annuel en DH	2849	

Tableau 46 Projet économique du remplacement des lampes à incandescence par les lampes à fluorescence



Projet économique :

Gain annuel en DH	2849
Nombre de lampes	8
Prix unitaire en DH	50
Investissement en DH	400
Temps de retour (mois)	2 mois

Tableau 47 Gain annuel et temps de retour du remplacement des lampes à incandescence

5.4 Récapitulatif des projets d'optimisation de l'éclairage :

	Gain en kWh/an	Gain en DH/an	Investissement en DH	Temps de retour (mois)
Le remplacement des Lampes à Vapeur de mercure par les Lampes à Iodure métallique	51647	41318	21250	6 mois
Le remplacement des Lampes à Vapeur de mercure par les Lampes à Sodium haute pression	19162	15330	3500	3 mois
remplacement des lampes à incandescence par les lampes à fluorescence	3352	2849	400	2 mois
Total	74162	59494	25150	5 mois

Émissions annuelles de CO2 évités :

Gain en kWh annuel	74162
Facteur d'émission (kg CO2/MWh)	766
Émissions annuelles de CO2 évités en kg	56808

5.5 Recommandations :

Le rendement de plusieurs systèmes d'éclairage peut être amélioré par le simple fait de veiller à ce que toute la lumière payée soit utilisée, certaines recommandations peuvent engendrer d'énormes économies au niveau de l'éclairage :

- Concevoir l'éclairage pour l'activité prévue : lumière plus intense dans les zones de travail
- Éteindre les lampes en cas de non-utilisation, spécialement dans l'unité de l'oxyde 1, assemblage 1, qui ne s'utilisent que rarement.
- Utiliser la lumière du jour : l'éclairage naturel pénétrant par les fenêtres et les toits peut être utilisé pour réduire la charge électrique de l'éclairage
- Maintenir l'équipement en bon état de fonctionnement et de propreté : la maintenance planifiée assure un bon rendement de la lampe. La maintenance des accessoires des unités peut aider aussi à l'amélioration de l'efficacité de l'éclairage.



Conclusion

L'étude que nous avons effectuée s'inscrit dans le cadre de l'optimisation de la consommation d'énergie au niveau d'AFRIQUE CABLES.

L'objectif est l'amélioration du système de gestion d'énergie. Pour ce faire on a choisi la Norme ISO 50001 comme un outil pour aborder la fonction « Énergie » où nous avons commencé par une étude de l'existant qui a permis de relever les sources de perte d'énergie et d'identifier les possibilités d'économie, avant de proposer un plan d'action visant l'optimisation énergétique de ces installations. Ces recommandations concernent principalement le réseau électrique, le circuit d'air comprimé, les chambres Hydro-setting et l'éclairage, vu les grands problèmes qu'ils connaissent.

On peut résumer l'aspect financier des projets recommandés durant cette période dans le tableau suivant :

Gains	485402 DHs
Coût de mise en œuvre	326150 DHs
Temps de retour	8 mois
les émissions de CO2 évitées annuelles	437432 Kg

D'autre part, le stage que nous avons effectué au sein d'Afrique câbles nous a donné l'occasion de faire le lien entre nos connaissances académiques et le monde professionnel. Il nous a permis de développer nos compétences techniques, d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques et de stimuler notre créativité. De même l'environnement de travail nous a permis d'améliorer notre savoir-faire et notre rigueur et d'affermir notre esprit d'équipe et notre professionnalisme. Enfin, cette expérience a aiguisé nos capacités d'analyse et de synthèse et a surtout fortifié notre motivation, notre détermination et notre ambition.



Bibliographie

- [1] Cours sur l'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE DANS LE MILIEU INDUSTRIEL" de M. EL MERNISSI, professeur de l'enseignement Supérieur à l'ENSMR.
- [2] Cours d'ELECTROTECHNIQUE" de M. EL NGOTE, professeur de l'enseignement supérieur à l'ENSMR.
- [3] : Mr.Guedira, support de cours : Qualité de l'énergie électrique.
- [4] Brochure_GA_30_90 d'ATLAS COPCO
- [5] Guide technique de l'air comprimé, KAESER COMPRESSORS.
- [6] Guide technique : réduction des fuites de l'air comprimé, Hydro-Québec.
- [7] ISO 50001 Systèmes de management de l'énergie : Exigences et recommandations de mise en œuvre - AFNOR
- [8] MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES : VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE DE LA CAISSERIE-GPC AGADIR par SLIMA Yassir
- [9] Guide de la compensation d'énergie réactive et du filtrage des harmoniques –Schneider Electric-
- [10] Cahier technique n° 199 La qualité de l'énergie électrique –Schneider Electric-
- [11] sovema strip manufacturing line
- [12] Guide technique de l'air comprimé, Atlas Copco

Webographie:

- [12] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ynna-Holding>
- [13] <http://electrabetterie.com/>



Annexes